

การศึกษานิตยงเชื่อมที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่รับสภาพแล้วสำหรับโรงงานผลิต
ขวดแก้วบรรจุ



นาย พจน์ รัตนชัยสิทธิ์

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-2613-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Study of Welding Metal Powder Types Influencing on the Life of Reconditioned Neck-Ring Mould for
Glass Container Factory



Mr. Poj Rattanachaiyasit

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2002

ISBN 974-17-2613-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษานิตยงเชื่อมที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปาก
ขวดที่ปรับสภาพแล้วสำหรับโรงงานผลิตขวดแก้วบรรจุ
โดย นาย พจน์ รัตนชัยสิทธิ์
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย วิจิรวณิช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. จิตรา ฐิติการพานิช)

พจนี รัตนชัยสิทธิ์ : การศึกษาชนิดผงเชื่อมที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ปรับสภาพแล้วสำหรับโรงงานผลิตขวดแก้วบรรจุ. (A Study of Welding Metal Powder Types Influencing on the Life of Reconditioned Neck-Ring Mould for Glass Container Factory) อ. ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร , จำนวนหน้า 180 หน้า. ISBN 974-17-2613-9.

การศึกษาชนิดผงเชื่อมที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ปรับสภาพแล้วสำหรับโรงงานผลิตขวดแก้วบรรจุ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาเงื่อนไขของรอยเชื่อมที่มีคุณสมบัติที่ดีที่สุด แล้วนำมาเชื่อมปรับสภาพแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดขึ้นรูปปากขวด เพื่อหาการอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น

จากการศึกษาตัวแปรสำคัญ สามารถกำหนดปัจจัยที่นำมาศึกษาได้ 2 ปัจจัย คือ ชนิดของผงเชื่อม อุณหภูมิในการอบชิ้นงาน พร้อมกำหนดปัจจัยที่ระดับต่ำ กลาง สูง ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศา ลงในเงื่อนไขได้ 9 เงื่อนไข ดำเนินการเตรียมชิ้นงานเชื่อมตามเงื่อนไขที่กำหนด

นำชิ้นงานเชื่อมตามเงื่อนไขที่กำหนด มาทำการทดสอบทางกลโดยวัดค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อม นำเงื่อนไขที่ดีที่สุดของแต่ละผงเชื่อมมาทำการดูภาพโครงสร้างรอยเชื่อม วัดค่าความแข็ง ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โมดูลัสความยืดหยุ่น และศึกษาความสัมพันธ์ของค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่ากับปัจจัยตัวอื่น โดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์สมการถดถอย และนำมาเชื่อมกับแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดและกลิ้งขึ้นรูปนำไปใช้งาน เพื่อศึกษาอายุการใช้งาน จากนั้นเปรียบเทียบความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจกับกับงานซ่อมดังกล่าว

ผลที่ได้จากการทดลองพบว่า ผงเชื่อม Colmonoy No.225 (C) ที่อุณหภูมิการอบชิ้นงานที่ 500 องศาเซลเซียส ที่มีเงื่อนไขที่ดีที่สุด มีอายุการใช้งานเพิ่มขึ้น 118.3 X1,000 ขวด โดยเพิ่มขึ้น 49.6 % เมื่อเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ใหม่(มีอายุ 238.4 K (x1,000) ขวด) และสามารถลดค่าใช้จ่ายในงานซ่อมได้ 441.85 บาทต่อ แม่พิมพ์ เมื่อเทียบกับการปรับสภาพแม่พิมพ์แบบเดิม คือ 430.21 บาท ต่อหนึ่งแม่พิมพ์ ซึ่งมีอายุการใช้งานเพียง 80.8 K (x1,000) ขวด

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา 2545

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

XXXXXXX : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD: WELDING METAL POWDER / MECHANICAL PROPERTIES / RECODITONED NECK-RING / LIFE EXTENSION / COST REDUCTION

POJ RATTANACHAIYASIT : THESIS TITLE. (A STUDY OF WELDING METAL POWDER TYPES INFLUENCING ON THE LIFE OF RECONDITIONED NECK-RING MOULD FOR GLASS CONTAINER FACTORY) THESIS ADVISOR : ASSSIS. PROF. SOMCHAI PORJINDANATE, Ph.D, THESIS COADVISOR : , 180 pp. ISBN 974-17-2613-9.

A study of welding metal powder types influencing on the life of recoditionned neck-ring mould for glass container factory. The experimemts were performed to study machanical and physical property of welding area that in a best conditions to made recoditioned neck-ring mould. That neck-rings were trailed in production line to kept record the life extension.

With reference to main variable study that treat them in to 2 factors as types of powder welding and annealing temperature then can set their value at low, medium and high. set value at 400, 500 and 600 degree factor level in 9 conditions in order to weld specimens in experiment which have setting factor value.

Machanical and physic testing of experimental specimens can measur bead strengths and keep best conditions each powders in order to test welded zone microstructure, Elongation E-Modulus hardness testing at weld zone and study tensile strength varried in the other varriable using statistical technique of regression analysis. Refer best conditions each powder to weld and turn profile of neck-ring. Then process that in production line to study life time and comparision of repair cost and life utilization.

The experimental results that show the powder welding Colmonoy No.225 (C) at 500 degree's annealing is a best codition. The life extension is 118.3 K(x 1,000) bottles and 49.6% with new neck-ring life comparision. The repairing cost can reduced from 441.85 bath/118.3K

Department Industrail Engineering Student's signature.....

Field of study Industrail Engineering Advisor's signature.....

Academic year 2002..... Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จได้ จากการได้รับคำปรึกษา คำแนะนำของท่าน

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร พร้อมด้วยความรู้ที่ได้รับจาก
คณาจารย์ผู้มีพระคุณทุกท่าน

ขอขอบคุณ บริษัท อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย (มหาชน) จำกัด ผู้ดำเนินธุรกิจ
บรรจุภัณฑ์แก้วซึ่งเอื้อเพื่อวัตถุประสงค์ในการวิจัย ผู้มีอุปการะคุณทุกท่าน เพื่อนๆ ที่มงาน และคุณ
แสงลิขิต จันทร์หอม ที่มีส่วนให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ต
บทที่	
1. บทนำ	
1.1 หลักการและเหตุผล.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	4
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	6
2. การสำรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 การเชื่อมโลหะผง (Powder welding).....	7
2.1.1 ประเภทของการเชื่อมแบบพ่นละออง.....	8
2.2 วัสดุทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด.....	11
2.2.1 คุณสมบัติเชิงกลของบรอนซ์ซิลิคอน.....	11
2.2.2 โลหะวิทยาของบรอนซ์ซิลิคอน.....	12
2.3 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว.....	14
2.3.1 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว.....	15
2.3.2 กระบวนการซ่อมแม่พิมพ์ขวด.....	17

บทที่

3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	23
3.1	การเตรียมชิ้นงาน และการขึ้นรูปชิ้นงาน.....	24
3.1.1	วัสดุ และอุปกรณ์.....	24
3.1.2	การเตรียมชิ้นงานเชื่อม.....	25
3.2	การตรวจสอบรูปทรง และการกระจายของขนาดของผงเชื่อมโลหะ.....	27
3.2.1	การตรวจสอบรูปทรงผงเชื่อมโลหะ.....	27
3.2.2	การตรวจสอบการกระจายของผงเชื่อมโลหะ.....	27
3.2.3	การตรวจหาส่วนผสมของผงเชื่อม.....	28
3.3	การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ.....	28
3.3.1	คุณสมบัติภายใต้แรงดึงของรอยเชื่อม (Tensile properties of welding zone).....	28
3.3.2	ความแข็ง (Hardness).....	31
3.3.3	การตรวจสอบขนาดของเกรน (Grain size) ของรอยเชื่อมภายหลังการดึง.....	31
3.4	การวิเคราะห์ผลทางสถิติ.....	32
4	ผลการทดลอง และการวิเคราะห์.....	35
4.1	การตรวจสอบรูปทรง และการกระจายของขนาดของผงเชื่อมโลหะ.....	36
4.1.1	ผลการตรวจสอบรูปทรงของผงเชื่อมโลหะ (Surface area and shape).....	36
4.1.2	ผลการตรวจสอบการกระจายของผงเชื่อมโลหะ (Particle size distribution).....	38
4.1.3	ส่วนประกอบทางเคมีของผงเชื่อม.....	43
4.2	ผลการทดลองของผงเชื่อมโลหะที่อุณหภูมิอบชิ้นงานต่างๆ.....	43
4.2.1	ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ.....	43
4.2.1.1	แรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength).....	43
4.2.1.2	ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (Elongation).....	45
4.2.1.3	โมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic Modulus).....	47
4.2.1.4	ความแข็ง (Hardness).....	49

4.2.1.5 ผลการตรวจสอบขนาดของเกรน (Grain size) ของรอยเชื่อมภายหลังการ ดิ่ง.....	51
4.1.1 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ	
4.1.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล	53
4.1.1.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ของข้อมูลคุณสมบัติทางกาย ภาพ และเชิงกล.....	57
4.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของรอยเชื่อม.....	78
4.2.1 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งแรงของรอยเชื่อมและชนิด ของผงเชื่อมโลหะ.....	78
4.2.2 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งแรงของรอยเชื่อมและโมดูล ลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	79
4.2.3 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งแรงของรอยเชื่อมและความ ยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	80
4.2.4 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งแรงของรอยเชื่อมและ คุณสมบัติที่อบขึ้นงาน.....	82
4.2.5 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและความยืด หยุ่นของรอยเชื่อม.....	83
4.2.6 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและโมดูลลัส ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	84
4.2.7 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างคุณสมบัติที่ทำการอบขึ้นงานและโมดูล ลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	86
4.2.8 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างคุณสมบัติที่ทำการอบขึ้นงานและ ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	87
4.2.9 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างค่าความยืดหยุ่นและโมดูลลัสความ ยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	88
4.3 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์.....	90

4.3.1	ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์.....	90
4.3.2	ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการจัดซ่อม.....	94
4.4	สรุปตารางผลการทดลอง.....	95
5	อภิปรายผลการทดลอง.....	97
5.1	ผลของคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ.....	97
5.1.1	แรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength).....	97
5.1.2	ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (Elongation)	97
5.1.3	โมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic Modulus)	97
5.1.4	ความแข็ง (Hardness).....	98
5.2	ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของรอยเชื่อม.....	98
5.2.1	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อมโลหะ.....	98
5.2.2	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	98
5.2.3	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	99
5.2.4	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและคุณสมบัติที่อบชิ้นงาน.....	99
5.2.5	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	99
5.2.6	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	100
5.2.7	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างคุณสมบัติที่ทำการอบชิ้นงานและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	100
5.2.8	ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างคุณสมบัติที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	101

5.2.9 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างค่าความยืดหยุ่นและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	101
5.3 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์.....	102
5.3.1 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ของแต่ละผงเชื่อมที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด.....	102
5.3.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการจัดซื้อ.....	102
6. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ.....	109
6.1 สรุปผลการทดลอง.....	109
6.2 ข้อเสนอแนะ.....	110
รายการอ้างอิง.....	113
ภาคผนวก.....	114
ก. รายงานผลการทดลอง.....	115
ข. รายละเอียดเอกสารผงเชื่อม A B และ C.....	140
ค. ผลการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม A B และ C.....	
ง. รวบรวมรูปแสดงการเสียหายของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากที่ผ่านการเชื่อมซ่อม.....	
จ. รายละเอียดเครื่องทดสอบแรงดึง H.T.E. Model: H20K-W.....	
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	161

สารบัญตาราง

ฎ

ตาราง	หน้า
1.1	แสดงการเสียหายของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด.....1
2.1	แสดงคุณสมบัติและการใช้งานของผงเชื่อม.....7
3.1	แสดงคุณสมบัติของผงเชื่อมที่ทำการทดลอง.....24
3.2	แสดงเงื่อนไขในการเชื่อมชิ้นงาน.....26
4.1	แสดงสรุปการกระจายของผงเชื่อม A B และ C.....39
4.2	แสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.22) run 11.....40
4.3	แสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม B (No.24) run 11.....41
4.4	แสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม B (No.225) run 7.....42
4.5	แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผงเชื่อม A B และ C.....43
4.6	แสดงผลของค่าแรงดึงที่จุดขาด (Tensile strength) ของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิ อบต่างกัน.....44
4.7	แสดงผลของค่าระยะยืด (Elongation) ของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิต่าง กัน.....46
4.8	แสดงผลของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E-Modulus) ของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิต่าง กัน.....48
4.9	แสดงผลของค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิต่าง กัน.....50
4.10	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแรงดึงที่จุดขาด.....54
4.11	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....55
4.12	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....56
4.13	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม.....57
4.14	แสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม A (Colmonoy No 22) ที่อุณหภูมิ 400 °C.....91
4.15	แสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม B (Colmonoy No 24) ที่อุณหภูมิ 400 °C.....92
4.16	แสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม C (Colmonoy No 225) ที่ อุณหภูมิ 500 °C.....93

4.17	แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการดำเนินการซ่อม และค่าใช้จ่ายเทียบกับอายุการใช้ งาน.....	94
4.18	สรุปความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของรอยเชื่อม.....	96
4.19		
5.1	แสดงปริมาณการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดต่อปี (หน่วย ชิ้น).....	103
5.2	แสดงการนำไปใช้งานของแม่พิมพ์ปรับสภาพเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ใหม่.....	105
5.3	แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณของเสียของแม่พิมพ์ใหม่และแม่พิมพ์ปรับสภาพต่ออายุการใช้ งาน.....	106
5.4	แสดงปริมาณแม่พิมพ์ที่เสียไม่สามารถใช้งานได้ แจกแจงเป็นประเภทของแม่พิมพ์ใหม่และแม่ พิมพ์ปรับสภาพ ระหว่าง เดือน กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม 2545.....	107
5.5	แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนในการซ่อมและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์.....	108
6.1	ตารางสรุปรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสมการ ของคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ.....	104
6.2	แสดงความสัมพันธ์เชิงสมการของค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าตามคุณสมบัติเชิงกล และกาย ภาพ.....	105

1.1	แสดงแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ชำรุดบริเวณปากขวด.....	2
1.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแม่พิมพ์ใหม่กับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์.....	3
1.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแม่พิมพ์ที่ผ่านการปรับสภาพ(Recondition) กับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์.....	4
1.4	แสดงลักษณะของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด แบบ 26 mm. 600 crown seal.....	5
2.1	แสดงการเชื่อมแบบพ่นละออง(Thermal Spray welding) บนชิ้นงาน.....	7
2.2	แสดงการเชื่อมแบบพลาสมา (Plasma Spray).....	9
2.3	แสดงการเชื่อมแบบเชื่อมโลหะผง(Powder Spraying).....	9
2.4	แสดงการเชื่อมแบบ Arc Spray.....	10
2.5	กราฟแสดงสัดส่วนของ Cu-Si Alloy ต่อคุณสมบัติเชิงกลของบรอนซ์ซิลิคอน.....	12
2.6	แผนภูมิสมมูล Cu-Si Alloy และภาพแสดงโครงสร้างเกรนแบบ Twining line ของเฟส K.....	13
2.7	แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว.....	14
2.8	แสดงกระบวนการผลิตแบบเป่าและเป่า (Blow & Blow process).....	15
2.9	แสดงกระบวนการผลิตแบบอัดและเป่า (Press & Blow process).....	16
2.10	แสดงกระบวนการผลิตแบบ Narrow Neck Press & Blow.....	17
3.1	แสดงส่วนผสมของแท่งบรอนซ์ซิลิคอน.....	25
3.2	แสดงการกลึงชิ้นงานทดสอบก่อนนำไปเชื่อม.....	26
3.3	แสดง ชุดจับชิ้นงานเชื่อมทดสอบ.....	27
3.4	แสดงชิ้นงานเชื่อมที่ทำการกลึงเรียบร้อยแล้วและพร้อมที่นำไปทดสอบหาค่าทนแรงดึง.....	27
3.5	A: แสดง เครื่องทดสอบแรงดึง Model: H20K-W.....	29
	B: แสดงการติดตั้งชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง	
	C: แสดงการติดตั้ง PS-50 กับชิ้นงานทดสอบ เพื่อวัดระยะยึด	
3.5	แสดง ชุดหัวจับชิ้นงานเชื่อมสำหรับดึงหาค่าทนแรงดึงแบบเดิม.....	29
3.7	แสดง ชุดจับชิ้นงานเชื่อมสำหรับทดสอบค่าทนแรงดึง ที่ออกแบบมาใหม่.....	30
3.8	แสดงแผนภูมิ ขั้นตอนการทดลอง.....	34
4.1	แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม A (No.22) ที่กำลังขยาย 90 เท่า.....	36
4.2	แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม A (No.22) ที่กำลังขยาย 450 เท่า.....	37

4.3 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม B (No.24) ที่กำลังขยาย 90 เท่า.....	37
4.4 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม B (No.24) ที่กำลังขยาย 450 เท่า.....	37
4.5 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม C (No.225) ที่กำลังขยาย 90 เท่า.....	38
4.6 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม C (No.225) ที่กำลังขยาย 450 เท่า.....	38
4.7 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.22) run 11.....	40
4.8 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.24) run 11.....	41
4.9 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.225) run 7.....	42
4.10 แสดง แผนภูมิความสัมพันธ์ค่าทนแรงดึงของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.....	45
4.11 แสดง แผนภูมิความสัมพันธ์ค่าระยะยืดของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.....	47
4.12 แสดง แผนภูมิความสัมพันธ์ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.....	49
4.13 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ค่าความแข็งของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.....	51
4.14 แสดงลักษณะโครงสร้างของรอยเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม A ที่ 400 ⁰ C.....	52
4.15 แสดงลักษณะโครงสร้างของรอยเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม B ที่ 400 ⁰ C.....	52
4.15 แสดงลักษณะโครงสร้างของรอยเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม C ที่ 500 ⁰ C.....	53
4.16 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาด.....	58
4.17 แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองค่าแรงดึงที่จุดขาด.....	59
4.18 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าแรงดึงที่จุดขาดของชนิดผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.....	60
4.19 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาเก็บข้อมูล.....	60
4.20 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าทนแรงดึงของชิ้นงาน.....	61
4.21 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะ.....	61
4.22 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน.....	62
4.23 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	63
4.24 แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองต่อค่าความยืดหยุ่น.....	64
4.25 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าความยืดหยุ่นของชนิดผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.....	65
4.26 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาเก็บข้อมูล.....	65

4.27	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าความยืดหยุ่นของชิ้นงาน.....	66
4.28	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะ.....	66
4.29	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน.....	67
4.30	แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	68
4.31	แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น.....	69
4.32	กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชนิดผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.	70
4.33	กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล.....	70
4.35	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน.....	71
4.36	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะ.....	71
4.37	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน.....	72
4.38	แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าความแข็งของรอยเชื่อม.....	73
4.39	แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองต่อค่าความแข็งของรอยเชื่อม.....	74
4.40	กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าความแข็งของรอยเชื่อมของชนิดผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ.....	75
4.41	กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาที่เก็บข้อมูล.....	75
4.42	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าความแข็งของชิ้นงาน.....	76
4.43	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะ.....	76
4.44	แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน.....	77
4.45	แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อมโลหะ.....	79
4.46	แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับความแข็งของรอยเชื่อมและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	80
4.47	แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับความแข็งของรอยเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	82
4.48	แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน.....	83

4.49 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับ ชนิดของผงเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	84
4.50 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับ ชนิดของผงเชื่อมและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	86
4.51 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับ อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน.....	87
4.52 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับ อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของเชื่อม.....	88
4.53 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับ ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม.....	90
4.54 แสดงการกลิ้งเนื้อบริเวณขอบปากที่ชำรุด ก่อนทำการเชื่อม.....	90
4.55 แสดงให้เห็นรอยเชื่อมที่ทำการเชื่อมซ่อม และรูปที่ทำการกลิ้งใหม่แล้ว.....	91
4.56 กราฟแสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม A (Colmonoy No 22) ที่ อุณหภูมิ 400 °C.....	92
4.57 กราฟแสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม B (Colmonoy No 24) ที่ อุณหภูมิ 400 °C.....	93
4.58 กราฟแสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม C (Colmonoy No 225) ที่ อุณหภูมิ 500 °C.....	94
6.1 A แสดงชุดจับชิ้นงานเชื่อมที่ใช้ทดสอบแรงดึง ที่ปลายทำการกลิ้งลายเอาไว้ B แสดงชุดจับในภาพ A เข้าด้วยกัน และติดตั้งเครื่องทดสอบแรงดึง C แสดงชุดจับชิ้นงานที่ออกแบบมาใหม่ โดยไม่อาศัยชุดจับ B.....	107

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

บรรจุภัณฑ์ประเภทแก้วมีบทบาทอุตสาหกรรมอาหารมานานแล้ว และมีแนวโน้มการขยายตัวมากขึ้น โดยสังเกตจากการเติบโตของธุรกิจเปียร์ของประเทศที่มีสูงขึ้นทุกปีและมีการแข่งขันสูง ด้วยเหตุนี้เอง การควบคุมคุณภาพของบรรจุภัณฑ์มีความเข้มงวดมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเป็นภาพลักษณ์ของบริษัท รวมทั้งการคำนึงถึงความปลอดภัยของบรรจุภัณฑ์ต่อผู้บริโภค กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้วมีการควบคุมคุณภาพมากขึ้น ในบางครั้งส่งผลให้ต้นทุนสูงขึ้นด้วยเหตุนี้ เพื่อให้เป็นตามข้อกำหนดของลูกค้า การหาแนวทางที่จะลดต้นทุนสามารถทำได้หลายทาง โดยที่โครงการนี้ทำการศึกษา หาแนวทางที่ยืดอายุแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด

วัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด แต่เดิมนั้นใช้วัสดุที่เป็นเหล็กหล่อ แต่เนื่องจากมีการพัฒนาประสิทธิภาพในการผลิตสูงขึ้น โดยการพัฒนาและออกแบบแม่พิมพ์เพื่อรองรับการผลิตที่สูงขึ้น โดยต้องสามารถสามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงขึ้น ตัวอย่างเช่น แม่พิมพ์ขึ้นรูปส่วนตัวขวด แต่เดิมนั้นเป็นเหล็กหล่อตันๆ ไม่มีระบบลมหล่อเย็นในตัวแม่พิมพ์ จึงไม่สามารถรองรับการผลิตที่สูงขึ้นได้ ส่วนแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดก็เช่นกัน มีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นบรอนซ์ซิลิคอนที่สามารถทำงานที่อุณหภูมิสูงได้ดี เนื่องจากสามารถถ่ายเทความร้อนได้ดีนั่นเอง

เนื่องจากการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดในปัจจุบัน มีปริมาณการใช้งานค่อนข้างสูง ผลสืบเนื่องจากการความต้องการของลูกค้าเพิ่มขึ้นนั่นเอง โดยมีแม่พิมพ์ดังกล่าวเสียไม่สามารถใช้งานได้ต้องแยกทิ้งประมาณ 80-100 อันต่อเดือน ซึ่งสามารถจำแนกลักษณะการเสียหายได้ดังตารางที่ 1.1 ดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงการเสียหายของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด

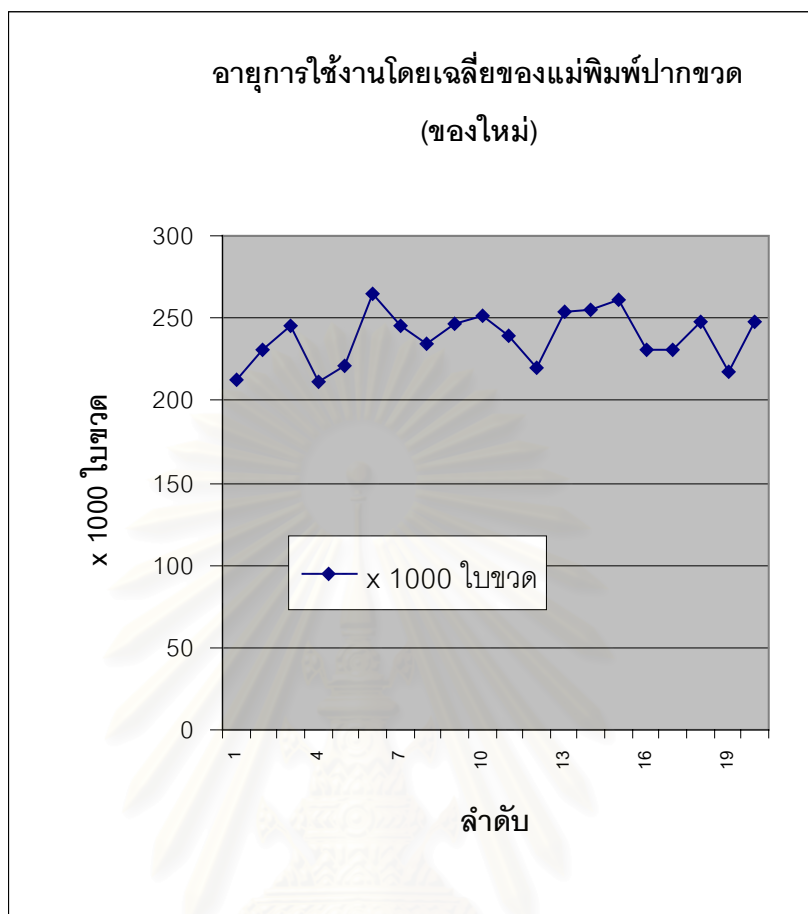
เดือนที่	ลักษณะความเสียหายที่เกิดขึ้น			รวม
	ขอบปากชำรุด	ค่าใหญ่กว่า Spec.	อื่นๆ	
April-02	75	28	7	110
May-02	76	28	6	110
June-02	84	29	6	119
July-02	85	30	8	123
<i>Total</i>	<i>320</i>	<i>115</i>	<i>27</i>	<i>462</i>
	69.26%	24.89%	5.84%	

จากข้อมูลข้างต้นพบว่าการเสียหายประเภทขอบปากชำรุดมีสูงมากถึง 71.85% สาเหตุเกิดจากกระบวนการขึ้นรูปขวด แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดถูกแรงกระแทกจากจังหวะขึ้นของ Plunger (เป็นแม่พิมพ์ขึ้นรูปโพรงในปากขวด)



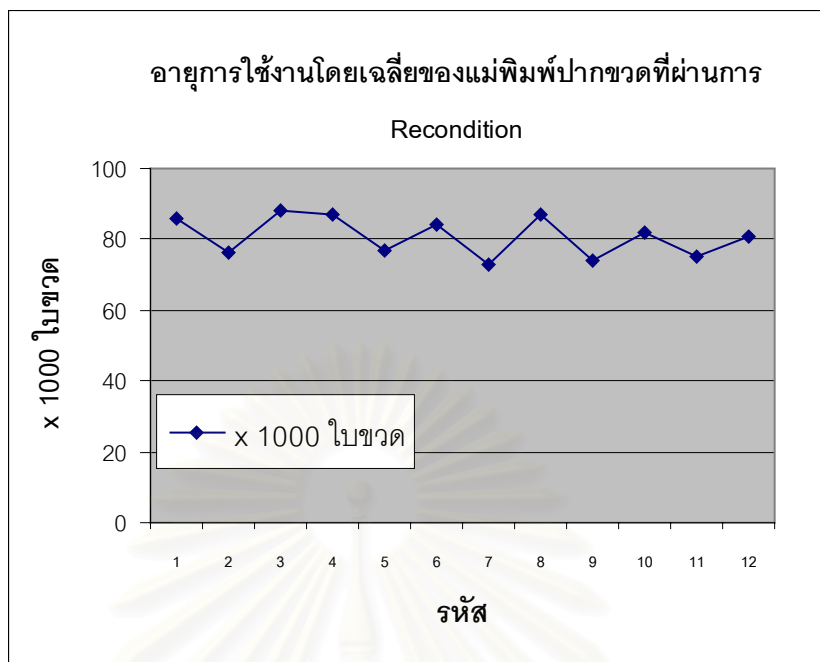
รูปที่ 1.1 แสดงแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ชำรุดบริเวณปากขวด

ราคาแม่พิมพ์ประมาณ 1,800 – 2,400 บาทต่ออัน จากการเก็บข้อมูลเบื้องต้นเพื่อศึกษาอายุการใช้งานโดยเฉลี่ย(จากแม่พิมพ์ใหม่จนถึงแม่พิมพ์ชำรุดไม่สามารถใช้งานได้)พบว่า แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด 26 mm. STD. Crown seal #600 และเนื่องจากการเสียหายบริเวณขอบปากเกิดขึ้นบ่อยและการใช้งานไม่นานและส่วนค่าต่างๆ ที่กำหนดใน Spec. ยังอยู่ใน Spec. ค่อนข้างมาก ดังนั้นการเชื่อมซ่อมบริเวณดังกล่าวที่น่าสนใจในการยืดอายุการใช้งาน จึงเกิดคำถามว่า ทำอย่างไรการเชื่อมซ่อมที่สามารถยืดอายุการใช้งานได้ต่อไป และคุ้มค่าในทางปฏิบัติและเชิงเศรษฐศาสตร์ ผลการทดลองเบื้องต้น สำหรับการปรับสภาพ แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ไม่สามารถใช้งานได้ มาเชื่อมแบบ โลหะผง (Spray welding) โดยใช้โลหะผง No. 24 แล้วทิ้งให้เย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นทำการกลึงขึ้นรูปแม่พิมพ์ดังกล่าวให้สามารถใช้งานได้ และผลการทดลองตามข้อมูลข้างล่างนี้



รูปที่ 1.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแม่พิมพ์ใหม่กับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

จากผลการทดลองพบว่า สามารถยืดอายุแม่พิมพ์เก่าที่ไม่สามารถใช้งานได้(โดยที่อายุของแม่พิมพ์ที่ผ่านการ Recondition คือ เฉลี่ย \pm SD = 80.83 \pm 5.61)โดยเทียบกับอายุแม่พิมพ์ใหม่ (โดยที่อายุของแม่พิมพ์ใหม่ คือ เฉลี่ย \pm SD = 238.4 \pm 16) ได้เท่ากับ 33.9% มีแนวโน้มยืดอายุแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดโดยกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม โดยพิจารณาค่าของตัวแปรที่มีผลต่อการเชื่อม ได้แก่ ชนิดของผงเชื่อมโลหะ ทั้งนี้เนื่องมาจากส่วนประสมทางเคมีของผงเชื่อมโลหะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของรอยเชื่อมได้ อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานเพื่อเพิ่มค่าทนแรงดึง(Tensile Strength) ปัจจัยดังกล่าวสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ รวมทั้งค่าใช้จ่ายที่เหมาะสมเพื่อความคุ้มค่าเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ



รูปที่ 1.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแม่พิมพ์ที่ผ่านการปรับสภาพ(Recondition) กับอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

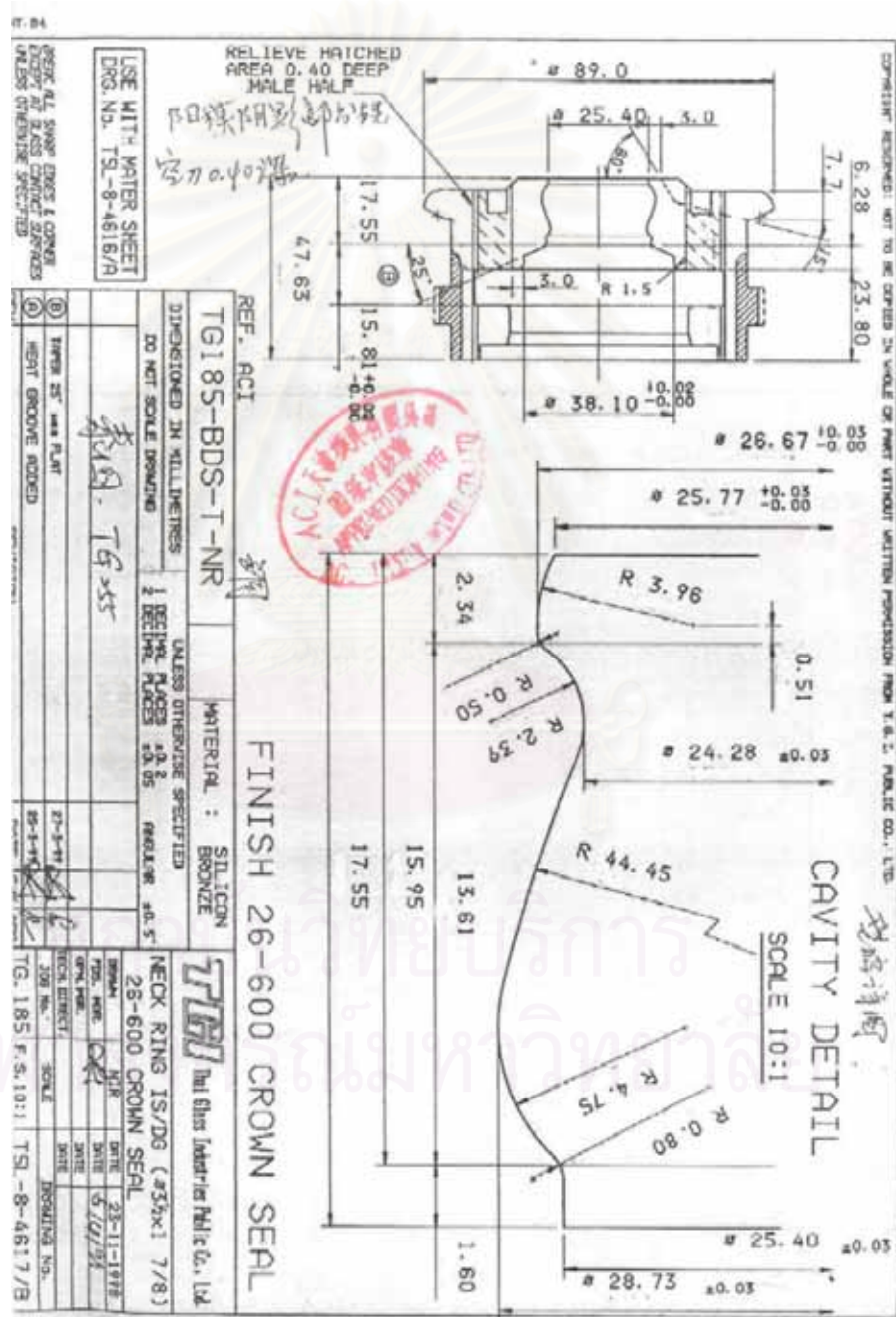
ศึกษาชนิดของผงเชื่อม และอุณหภูมิในการอบขึ้นงาน ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของรอยเชื่อมของวัสดุแม่พิมพ์ Silicon bronze โดยการทดลองเชื่อมที่มีคุณสมบัติเชิงกลตามที่ต้องการซึ่งมีผลต่อการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด และลดต้นทุนการผลิต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ ได้มีการจำกัดขอบเขตของการศึกษาวิจัยไว้ดังนี้ คือ

1. ศึกษากระบวนการและวิธีการในการยึดอายุแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดแบบ 26 mm. 600 Crown seal



รูปที่ 1.4 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด แบบ 26 mm. 600 crown seal

2. ทำการเชื่อมชิ้นงานทดลองด้วยผงเชื่อม A, B, และ C ที่อุณหภูมิอบชิ้นงานที่ 400, 500 และ 600 °C
3. ศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการและวิธีการยึดอายุแม่พิมพ์ โดยมีปัจจัยที่ทำการศึกษาเบื้องต้นดังนี้
 - 3.1 ความแข็งของผงเชื่อมโลหะที่ใช้เชื่อมแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด
 - 3.2 การยึดเกาะของรอยเชื่อมกับชิ้นงาน โดยพิจารณา Tensile Strength และ Micro structure ของรอยเชื่อมในแต่ละแบบ
 - 3.3 ศึกษาลักษณะของโลหะผงที่ใช้ในการเชื่อมชิ้นงาน ในลักษณะ Powder morphology ทางด้าน particle size distribution, surface area, shape
4. นำเงื่อนไขเชิงกลที่ดีที่สุด โดยพิจารณาค่าทนแรงดึงสูงสุด มาจัดทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด แล้วนำมาทดลองหาอายุการใช้งานจริงที่เครื่องจักรผลิต วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้ ตลอดจนสรุปค่าใช้จ่ายในการยึดอายุของแม่พิมพ์

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

1. ทราบถึงปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการยึดอายุแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด
2. ทราบถึงเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้อายุแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดยาวนานที่สุด
3. ช่วยลดต้นทุนในการผลิต
4. เป็นข้อมูลสำหรับใช้เป็นมาตรฐานการปฏิบัติงานและเป็นแนวทางในการวิจัยและพัฒนากระบวนการยึดอายุแม่พิมพ์ปากขวดในแบบอื่นๆ ต่อไป
5. เป็นแนวทางในการที่จะพัฒนางานวิจัยที่ต่อเนื่องกัน

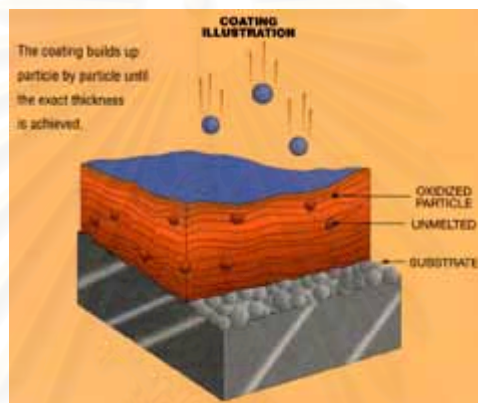
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

การสำรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเชื่อมโลหะผง (Powder welding)

ก่อนอื่นจะนำเสนอภาพรวมการเชื่อมแบบพ่นละออง (Thermal Spray Welding) คือการพ่นเปลวไฟเชื่อมพอกชิ้นงานขึ้นมา ด้วยลวดเชื่อม หรือผงเชื่อม ลงบริเวณที่ทำการเชื่อม ลวดเชื่อมหรือผงเชื่อมจะหลอมเหลวด้วยเปลวไฟไปติดที่บริเวณที่ต้องการเชื่อม และเคลือบเป็นชั้นๆ ขึ้นมา



รูปที่ 2.1 แสดงการเชื่อมแบบพ่นละออง(Thermal Spray welding) บนชิ้นงาน

โดยมากการเชื่อมแบบพ่นละอองใช้ในงานซ่อมบำรุงเป็นส่วนใหญ่ เช่น เชื่อมชิ้นส่วนของเครื่องจักรที่สึกหรอ อย่างเช่นล้อลูกกลิ้ง (Roll) ที่ใช้ในอุตสาหกรรมทำกระดาษ สิ่งพิมพ์ กระบวนการผลิตทางเคมี และอุตสาหกรรมสิ่งพิมพ์ต่างๆ โดยนำมาใช้เชื่อมเคลือบผิวกับชิ้นงานที่ป้องกันการกัดกร่อน และค่าใช้จ่ายโดยใช้การเชื่อมแบบนี้สามารถลดต้นทุนได้ประมาณ 50 -70 เปอร์เซ็นต์ แทนการเปลี่ยนอะไหล่ใหม่ๆ เข้าไปแทน

ลักษณะงานเชื่อมพ่นสามารถเลือกนำไปใช้งานตามความเหมาะสม ตามตาราง 2.1 ดังนี้

ชนิดของผงเชื่อม	คุณสมบัติของผงเชื่อมที่นำมาเชื่อมเคลือบ
Pure Metals	ลักษณะการนำไปใช้งาน ใช้เคลือบป้องกันการกัดกร่อนประเภทอิออนบวก สำหรับงานที่ต้องการความสวยงาม

Metal Alloys	ลักษณะการนำไปใช้งาน ใช้เคลือบป้องกันการกัดกร่อนประเภทอ็อกซิไดซ์ สำหรับงานที่ต้องการความสวยงาม
Carbides	ส่วนมากมักใช้กับงานสวม ป้องกันการกัดกร่อน และการสึกหกร่อน ซึ่งเหมาะกับ งานเปลี่ยนงานแผ่นชุบโครเมียม
Ceramics	มีคุณสมบัติเด่นด้านป้องกันการสึกหกร่อน เป็นฉนวน ป้องกันการกัดกร่อนที่ ความร้อนสูง และทนต่อสารเคมี โดยมากใช้งานกับลูกกังหันพิมพีดี
Abradables	ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องยนต์ โดยการลดค่า Clearance ระหว่าง ใบพัดกับรอบๆ Casing
Pack Diffusion	นำมาใช้เป็นส่วนประกอบป้องกันการทำปฏิกิริยากำมะถัน และการออกซิเด ชั้นที่อุณหภูมิสูง

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติและการใช้งานของผงเชื่อม

2.1.1 ประเภทของการเชื่อมแบบพ่นละออง สามารถแบ่งหลักๆ ได้ดังนี้

2.1.1.1 การเชื่อมเคลือบแบบพลาสมา (Plasma Spray) การเชื่อมเคลือบแบบพลาสมา
คือ นำความร้อนที่เปลี่ยนรูปมาจากกระแสไฟฟ้ากำลังสูง มาหลอมผงเชื่อม
ระหว่างหัวบวกและหัวลอบภายในปืนเชื่อม แล้วทำการพ่นผ่านหัวฉีด (nozzle)
ออกมาด้วยความเร็วสูงที่ขึ้นงาน ซึ่งมีความเที่ยงตรงในการควบคุมสูงมาก การ
ควบคุมระยะห่างในการเชื่อมขึ้นกับแก๊สคลอบคลุมลำพลาสมา ซึ่งแตกตัวเป็นอิ
ออน โดยปกติต้องทำให้แก๊สร้อนประมาณ 10,000 F (ใช้แก๊ส อาร์กอน หรือ
ไนโตรเจน) ผงเชื่อมส่วนใหญ่จะเป็นเซรามิกส์ ผงโลหะ อย่างไรก็ตามอุณหภูมิ
ภายในปืนฉีดสูงมาก แต่อุณหภูมิการใช้งานค่อนข้างต่ำ งานส่วนมากใช้เคลือบที่
ความหนาประมาณ 0.015" อุณหภูมิขึ้นงานสูงกว่า 200 F ใช้ขึ้นงานที่ไม่ใช่โลหะ
เช่น พลาสติก พลาสติกลามิเนต และแก้ว เป็นต้น



รูปที่ 2.2 แสดงการเชื่อมแบบพลาสมา (Plasma Spray)



รูปที่ 2.3 แสดงการเชื่อมแบบเชื่อมโลหะผง (Powder Spraying)

2.1.1.2 การเชื่อมโลหะผง (Powder Spraying) ที่เรียกอีกอย่างว่า “High Velocity Oxy-Fuel Spray (HVOF) คือการเชื่อมที่ใช้ออกซิเจนผสมกับ Acetylene propylene, propane และ Hydrogen หรือ ก๊าซธรรมชาติ โดยผงเชื่อมถูกพาไปด้วยความดันแก๊สออกไป และไปหลอมเมื่อทำการพ่นออกไปเคลือบชิ้นงาน ผงเชื่อมที่มาใช้กันคือ โลหะ เซรามิกส์ คาร์ไบด์ cermet(เป็นอนุภาคของเซรามิกส์จับพันธะกับโลหะ) และ polymer ก็สามารถทำการเคลือบได้ ความอ่อนหรือแข็ง ถูกหรือแพงขึ้นอยู่กับทางเลือกผงเชื่อมมาใช้งาน โดยส่วนใหญ่แล้วจะทำการเชื่อมเคลือบชิ้นงานความหนา 0.003” – 0.250”

2.1.1.2.1 การเชื่อมงานแบบ Arc Spray การเชื่อมแบบนี้สามารถแบ่งออกเป็นสองประเภทได้ดังนี้

- 2.1.1.2.2 *Twin-wire arc spray (Electric wire arc spray)* คือ การให้กระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดเชื่อมงาน 2 อัน บ้อนเข้าหากันเป็นมุม โดยตัวลวดอันหนึ่งทำหน้าที่เป็นขั้วบวก และอีกอันหนึ่งเป็นขั้วลบ กระแสไฟจะกระโดดไปยังลวดเชื่อมอีกอันหนึ่ง แล้วจะทำการหลอมโลหะลวดเชื่อมนั้น และมีลมความดันสูงเป่าน้ำโลหะที่หลอมเหลวออกมาเป็นละอองฝอย (กระบวนการดังกล่าวเกิดขึ้นภายในตัวปืนเชื่อมชิ้นงาน) เคลือบชิ้นงาน
- 2.1.1.2.3 *Single-wire combustion spray* เปลวไฟที่เกิดขึ้น เกิดจากการลุกไหม้ของออกซิเจนและ Acetylene ภายในหัวเชื่อมงาน (Torch) เปลวไฟสามารถเร่งได้โดยผ่านรูพ่น (Nozzle) ลวดเชื่อมที่อยู่ด้านในหัวเชื่อม ถูกบ้อนออกมาที่รูพ่น บริเวณเปลวไฟที่ร้อนที่สุด(สีขาว) จะทำการหลอมลวดเชื่อมนั้น ประกอบกับเปลวไฟมีแรงดันสูงจะทำให้น้ำโลหะของลวดเชื่อมแตกเป็นละออง แล้วไปเคลือบชิ้นงานตามต้องการ



รูปที่ 2.4 แสดงการเชื่อมแบบ Arc Spray

การเลือกกระบวนการเชื่อม โดยทั่วไปแล้วปัจจัยที่มีผลต่อการเลือกกระบวนการเชื่อมแบบพ่นละออง ได้แก่ ราคา ความคล่องตัว ลักษณะการทำงาน การเชื่อมแบบ Plasma coating ค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงกว่าการเชื่อมแบบ Arc spray หรือ Powder spraying เนื่องจากราคาเครื่องมือและอุปกรณ์ รวมทั้งการเตรียมงานเชื่อม ส่วนการเชื่อมแบบ Powder spraying ต้องใช้ผงเชื่อมที่เป็นเซรามิกหรือโลหะเท่านั้น แต่มีความคล่องตัวสูงในการใช้งาน ราคาถูกกว่า ส่วนการเชื่อมแบบ Arc spray ต้องใช้ลวดเชื่อมที่เป็นโลหะเพียงอย่างเดียวเท่านั้น

2.2 วัสดุทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด คือบรอนซ์ซิลิคอน (Silicon Bronze) จะกล่าวถึงคุณสมบัติเชิงกล และโลหะวิทยาของ Silicon Bronze

บรอนซ์ซิลิคอน จัดเป็นโลหะผสมทองแดงอีกประเภทหนึ่งที่มีความแข็งแรงสูง ใกล้เคียงกับบรอนซ์อะลูมิเนียม เอกสารอ้างอิงบางฉบับกล่าวเปรียบเทียบความเค้นแรงดึงของบรอนซ์ซิลิคอนไว้ว่าอยู่ในระดับเดียวกับเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ใช้งานในงานก่อสร้าง (Mild steel) นอกจากนี้บรอนซ์ซิลิคอนมีคุณสมบัติต้านทานการกัดกร่อนได้ดี โดยเฉพาะในน้ำทะเลทั้งในระดับอุณหภูมิต่ำและอุณหภูมิสูงกว่าระดับปกติ สามารถทำการเชื่อมได้ดีจึงใช้บรอนซ์ซิลิคอนทำภาชนะที่ทนความดัน (Tank และ Pressure vessel) ทำท่อที่ใช้ในระบบไฮดรอลิก (Hydraulic pressure line) และส่วนประกอบของอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในทะเล บรอนซ์ซิลิคอนที่ผลิตจำหน่ายจะมีทั้งที่เป็นท่อเป็นแผ่นผ่านการรีด และที่ผ่านงานด้านหล่อหลอม

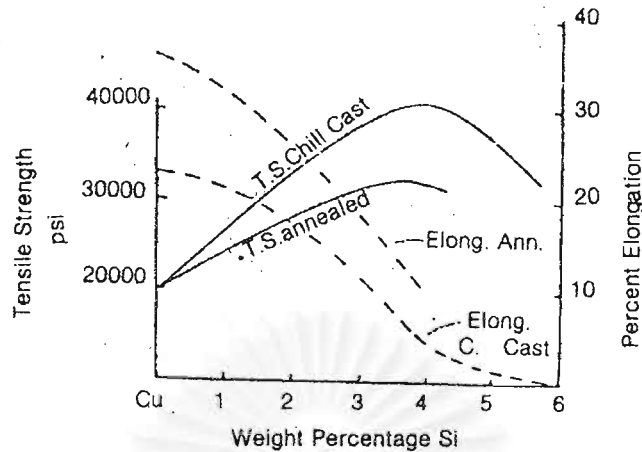
2.2.1 คุณสมบัติเชิงกลของบรอนซ์ซิลิคอน

จากการทดสอบแรงดึง ละวัดค่าอัตราการยืดตัว(% Elongation) เปรียบเทียบทั้งในสภาพภายหลังการหล่อและการอบอ่อน ปรากฏว่าความต้านทานแรงดึงของบรอนซ์ซิลิคอนจะมีค่าสูงขึ้น เมื่อปริมาณของซิลิคอนในเนื้อโลหะบรอนซ์เพิ่มขึ้น จะให้ค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดที่ประมาณ 4% ซิลิคอน เมื่อปริมาณซิลิคอนเพิ่มขึ้นค่าความเค้นแรงดึงจะมีแนวโน้มลดลง

สำหรับอัตราการยืดตัวจะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว เมื่อปริมาณซิลิคอนที่ผสมในโลหะบรอนซ์เพิ่มขึ้น ทั้งในสภาพหลังการหล่อ (As cast) และสภาพภายหลังการอบอ่อน (As annealed)

คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการหนึ่งของบรอนซ์ซิลิคอน คือ ภายหลังการขึ้นรูปเย็น (Cold forming) โลหะบรอนซ์ซิลิคอนจะมีความแข็ง และความเค้นแรงดึงเพิ่มขึ้นมาก (Work Hardenable) โดยที่อัตราการยืดตัวจะมีค่าลดลงมากเช่นเดียวกันดังตัวอย่างเช่น ในสภาพอบอ่อนมีค่าความเค้นแรงดึง 58,000 psi และค่าอัตราการยืดตัว 50% ภายหลังการรีดเย็นจะได้โลหะบรอนซ์ที่มีความเค้นแรงดึงสูงถึงประมาณ 100,000 psi แต่ค่าอัตราการยืดตัวจะลดลงเหลือเพียง 13%

Proportion of Cu-Si Alloys



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงสัดส่วนของ Cu-Si Alloy ต่อคุณสมบัติเชิงกลของบรอนซ์ซิลิคอน

2.2.2 โลหะวิทยาของบรอนซ์ซิลิคอน

การศึกษาอาศัยแผนภูมิสมมูลของแดง-ซิลิคอน ซึ่งในอุตสาหกรรมผลิตบรอนซ์ซิลิคอนจะผลิตบรอนซ์ที่ผสมซิลิคอนไม่เกิน 6% เนื่องจากถ้าผสมซิลิคอนมากกว่านี้คุณสมบัติเชิงกลจะลดลง ไม่เกิดประโยชน์ทางการใช้งาน การศึกษาแผนภูมิสมมูลจึงอยู่ในขอบเขตอันจำกัด

จากแผนภูมิสมมูล ซิลิคอนสามารถละลายในทองแดงและให้สารละลายของแข็งได้สูงสุด 5.3% ที่อุณหภูมิ 852 °C สารละลายของแข็ง α มีระบบผลึกเป็น FCC เมื่ออุณหภูมิลดลง ปริมาณของซิลิคอนที่ละลายได้ในทองแดงจะลดลงตามลำดับ เหลือเพียง 4.6% ที่อุณหภูมิ 555 °C ซึ่งอุณหภูมินี้จะให้ปฏิกิริยาแยกตัว ($K \rightleftharpoons \alpha + \gamma$)

เมื่อปริมาณของซิลิคอนที่ผสมเพิ่มขึ้นจะปรากฏเฟส β ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิสูงโดยมากเกิดจากปฏิกิริยาเพริเทคติก ($L + \beta \rightleftharpoons \alpha$) ที่อุณหภูมิ 852 °C เฟส β มีระบบผลึกเป็นแบบ BCC. และที่อุณหภูมิ 842 °C จะเกิดปฏิกิริยาเพริเทคตอยด์ โดยเฟส β ทำปฏิกิริยากับเฟส α ให้เฟส K ($\beta + \alpha \rightleftharpoons K$) ซึ่งเป็นเฟสที่มีระบบผลึกเป็นรูปหกเหลี่ยม (HCP.)

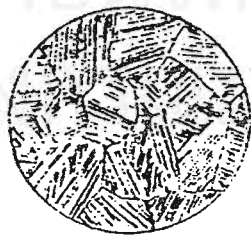
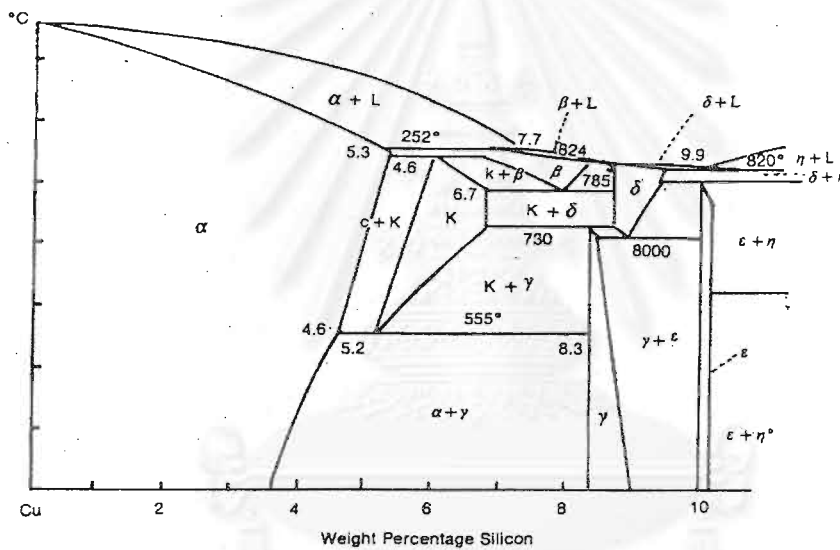
ที่อุณหภูมิ 785 °C เกิดปฏิกิริยาแยกตัว โดยเฟส β จะแตกตัวให้เฟส K กับเฟส δ ($\beta \rightleftharpoons K + \delta$) ซึ่งเฟส δ มีระบบผลึกเป็นรูปลูกบาศก์เชิงซ้อน (Complex cubic) สำหรับเฟส δ นี้จะให้เกิดปฏิกิริยาแยกตัวเกิดเฟส ϵ ซึ่งเป็นลักษณะของสารประกอบเชิงโลหะระหว่างทองแดงกับซิลิคอน เนื่องจากการศึกษาไม่ครอบคลุมไปถึงเพราะการใช้งานของบรอนซ์ซิลิคอน มีซิลิคอนผสมต่ำในการศึกษาจึงไม่ให้ความสำคัญของเฟส ϵ นี้

ที่อุณหภูมิ 555 °C จะเกิดปฏิกิริยาแยกตัวอีกครั้งหนึ่ง โดยเฟส K จะแตกตัวให้เฟส α กับเฟส γ ซึ่งมีระบบผลึกเป็นลูกบาศก์ ปฏิกิริยาแยกตัวที่อุณหภูมินี้จะเกิดสมบุนได้ยากต้องมีอัตราการเย็นตัวช้ามาก ดังนั้นโลหะผสมจึงมักปรากฏโครงสร้างของเฟส K ที่อุณหภูมิปกติเสมอและ

เฟส K นี้จะมีลักษณะคล้ายกับเฟส α มาก ที่แตกต่างกันคือ จะมีลักษณะของเกรนที่มี Twining line จำนวนมากเท่านั้น

จากเอกสารอ้างอิงได้กล่าวถึงคุณสมบัติอีกประการหนึ่งของบรอนซ์ซิลิคอน คือคุณสมบัติที่สามารถเพิ่มความแข็งได้ด้วยกระบวนการอบชุบในลักษณะเอจจิง แต่ต้องผสมซิลิคอนมากกว่า 5% ดังเช่นบรอนซ์ 6.7% ซิลิคอนภายหลังการทำ Solution treatment ได้ความแข็ง 110 HB และเมื่อนำไปทำเอจจิงจะเพิ่มความแข็งเป็น 280 HB ในทางการค้าจะไม่ผลิตบรอนซ์ที่ผสมซิลิคอนเกิน 5% เพราะจะยากในการขึ้นรูป เนื่องจากความเหนียวต่ำ ดังนั้นบรอนซ์ซิลิคอนที่ใช้ในงานวิศวกรรมจะเป็นโลหะผสมที่มีเฟสเดียวคือ α ซึ่งมีทั้งความแข็งแรงและความเหนียวสูง

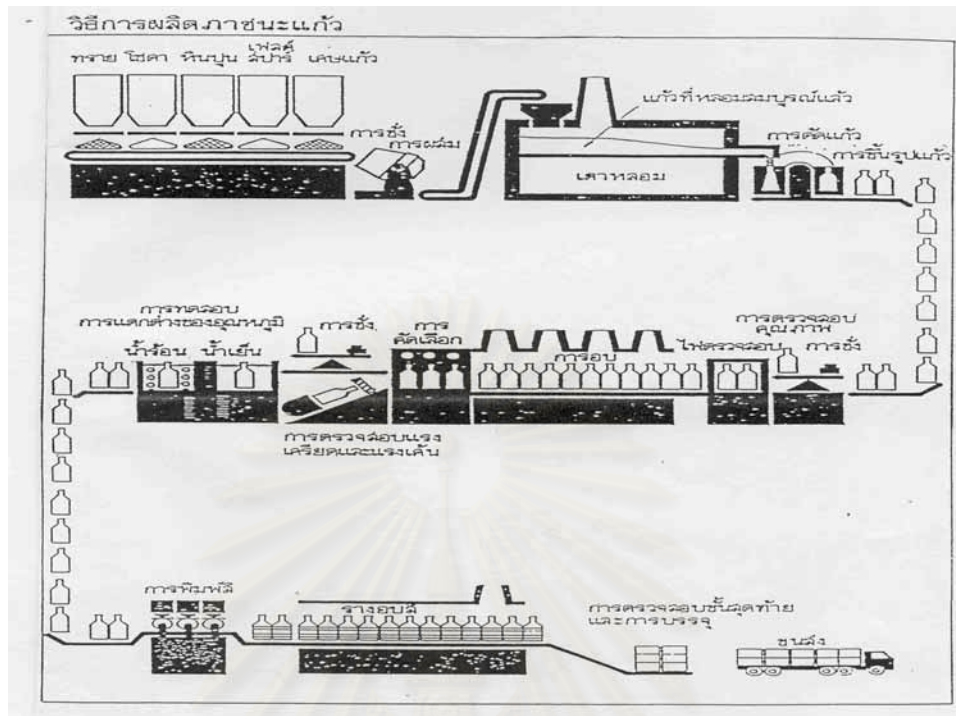
Constitution of Cu - Si Alloys



K-CuSi

รูปที่ 2.6 แผนภูมิสมมูล Cu-Si Alloy และภาพแสดงโครงสร้างเกรนแบบ Twining line ของเฟส K

2.3 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว

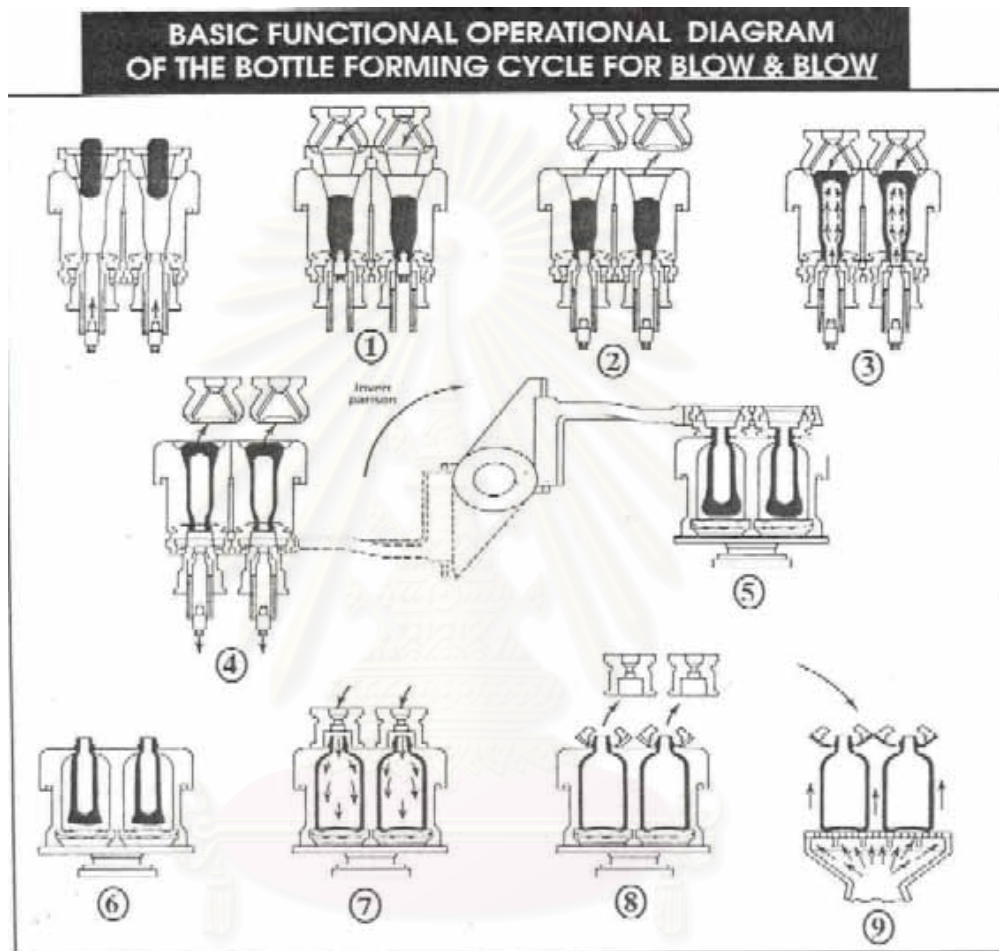


รูปที่ 2.7 แผนภาพแสดงกระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว

กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว โดยเริ่มจาก การนำวัตถุดิบ ซึ่งประกอบด้วย ทราย โซดาไฟ หินปูน เฟลด์สปาร์ และเศษแก้ว นำมาซึ่งตามสูตรของสีน้ำแก้วแล้วทำการผสมในถังผสม ส่วนผสมที่ได้ดำเนินการลำเลียงไปสู่หอคอยเพื่อทำการพักส่วนผสมดังกล่าว แล้วทำการลำเลียงโดยสายพานแล้วป้อนส่วนผสมเข้าสู่เตาหลอม กระบวนการหลอมจะมีหัว Burner ให้ความร้อนเป็นระยะจนกระทั่งเป็นน้ำแก้ว จากนั้นน้ำแก้วจะไหลไปที่ foreheart เพื่อกักน้ำแก้วแล้วทำการ feed โดยผ่าน O-ring น้ำแก้วเข้าเครื่องจักร จากนั้นจะถูกตัดเป็นก้อนแก้ว (Gob) ตามขนาดของ Job ที่กำหนด แล้วลงสู่ drop guide ไหลลงตาม delivery ลงสู่แม่พิมพ์ขึ้นรูปคร่าวๆ ก่อน (Blank Mould side) เมื่อ Gob ทำการ pre-form (Parison) แล้ว Invert มาฝั่ง Blow Mould เพื่อทำการขึ้นรูปครั้งสุดท้าย เมื่อขึ้นรูปขวดเรียบร้อยแล้ว ขวดจะถูกลำเลียงตามสายพานเพื่อเข้าสู่เตาอบเพื่อลดความเครียดของขวดลง โดยลดอุณหภูมิเป็นระยะจนถึงอุณหภูมิห้อง ในระหว่างดำเนินการลดความเครียดมีกระบวนการปรับปรุงคุณภาพของขวด จากนั้นผ่านการตรวจคุณภาพของขวด โดย QC. ทำการคัดเลือก มีกระบวนการทดสอบขวดแบบต่างๆ เช่น การชั่ง การวัด การทดสอบความเค้น และความเครียด ทดสอบความแตกต่างของอุณหภูมิ ถ้าขวดหากมีการทำ Logo จะนำขวดดังกล่าวไปพิมพ์สีที่ตัวขวด แล้วทำการอบสีให้แห้ง แล้วตรวจสอบขั้นสุดท้ายและทำการบรรจุลงกล่อง pallet เพื่อจัดส่งให้ลูกค้าต่อไป

2.3.1 กระบวนการผลิตบรรจุภัณฑ์แก้ว สามารถแบ่งตามประเภทของบรรจุภัณฑ์ ได้ดังนี้

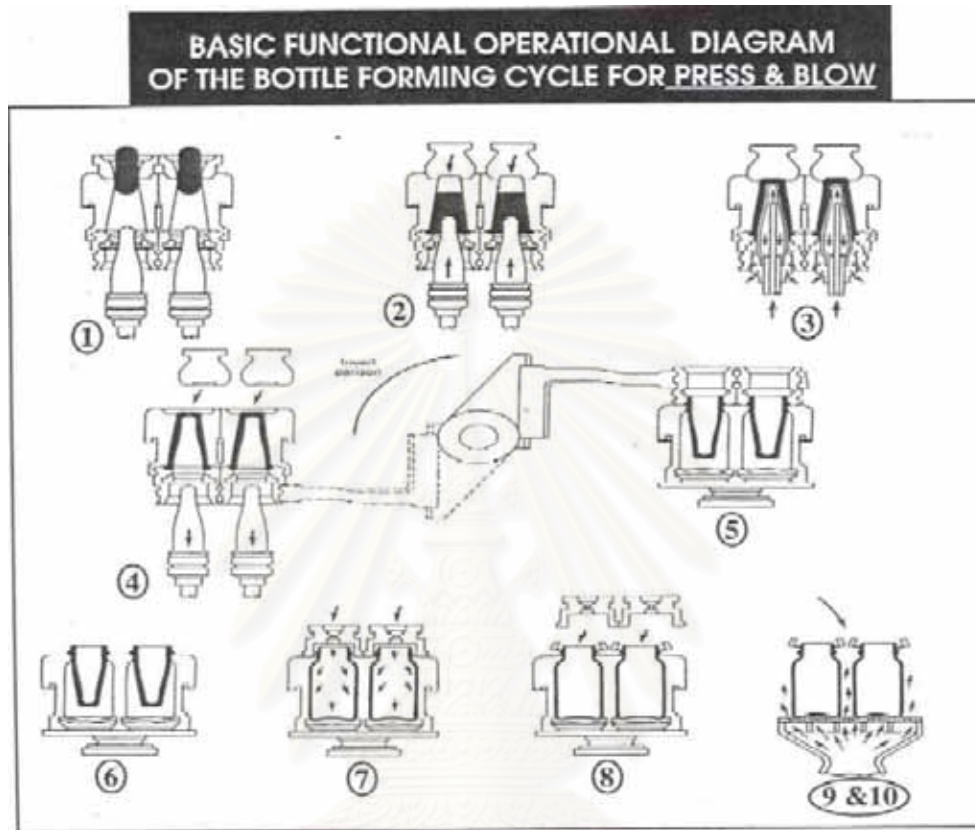
2.3.1.1 กระบวนการผลิตแบบเป่าและเป่า (Blow & Blow Process) เป็นกระบวนการขึ้นรูปขวดทั่วไป ที่มีขนาดของปากขวดไม่เกิน 40 mm เช่น ขวดเบียร์ ขวดน้ำอัดลม หรือขวดเครื่องดื่มชูกำลัง เป็นต้น โดยกระบวนการผลิตสามารถดูได้ตามภาพที่แสดงด้านล่าง (ภาพที่ 2.8)



รูปที่ 2.8 แสดงกระบวนการผลิตแบบเป่าและเป่า (Blow & Blow process)

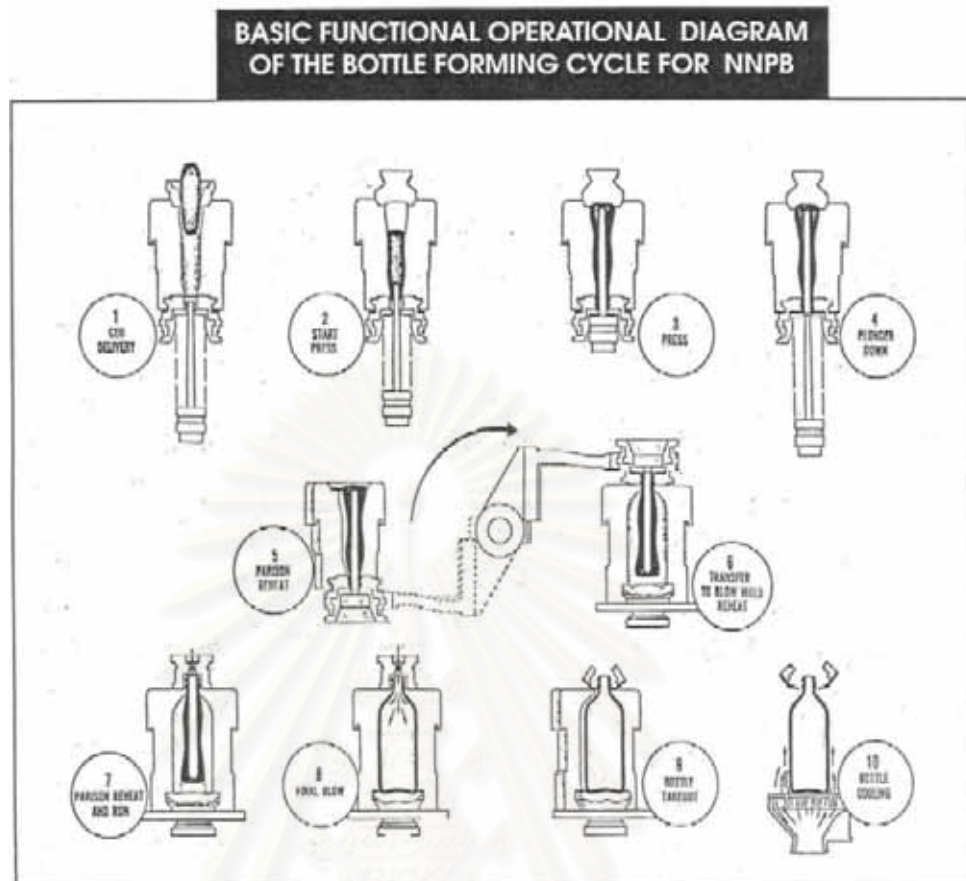
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3.1.2 กระบวนการผลิตแบบอัดและเป่า (Press & Blow process) เป็นกระบวนการที่ขึ้นรูปขวดปากกว้าง โดยมีขนาดปากขวดโต 40 mm ขึ้นไป เช่น ขวดแยม ขวดเครื่องปรุงต่างๆ เป็นต้น รายละเอียดกระบวนการสามารถดูภาพที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงกระบวนการผลิตแบบอัดและเป่า (Press & Blow process)

2.3.1.3 กระบวนการผลิตแบบ Narrow Neck Press & Blow คือกระบวนการขึ้นรูปที่พัฒนาของกระบวนการผลิตแบบเป่าและเป่า ข้อดีคือ สามารถทำให้การกระจายตัวของเนื้อแก้วสม่ำเสมอ เพิ่มความแข็งแรงของขวด เหมาะสำหรับขวดที่ต้องการคุณภาพการผลิตสูง รายละเอียดกระบวนการดูที่รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการผลิตแบบ Narrow Neck Press & Blow

2.3.2 กระบวนการซ่อมแม่พิมพ์ขวด เนื่องจากระหว่างทำการผลิต จะมีแม่พิมพ์ทำการเปลี่ยนออกมา ทั้งนี้สาเหตุที่ทำการเปลี่ยนออกมาเนื่องจาก ความสกปรก แม่พิมพ์ชำรุดเนื่องจากการขึ้นรูปผิดจังหวะ การใช้งานจนทำให้เกิดความเสียหายหรือสึกหรอเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด กระบวนการซ่อมเริ่มดังนี้

- I. นำอุปกรณ์แม่พิมพ์ที่เปลี่ยนออกมาจากเครื่องจักรผลิต เพื่อนำมาทิ้งให้เย็นตัว จากนั้นนำมาทำความสะอาด โดยใช้เครื่องเป่าทำความสะอาด (Sand Blast M/C)
- II. นำอุปกรณ์แม่พิมพ์ที่ทำความสะอาดแล้ว มาตรวจสอบแปล ขนาด และสิ่งผิดปกติต่างๆ จากนั้นแจกแจงความเสียหายที่เกิดขึ้นว่า สามารถทำการซ่อมได้ขั้นตอนเดียวหรือไม่ เช่น หากเป็นแค่แปลชำรุดเล็กๆ สามารถเชื่อมซ่อม โดยการใช้กระบวนการเชื่อมแบบ Flame spraying welding

แล้วตกแต่งด้วยหัวเจียร (Air grinding tool) ขัดด้วยหัวขัด (Air polishing tool) หรือ ตะไบ เมื่อซ่อมเสร็จแล้ว ดำเนินการจัดส่งไปใช้งานตามปกติ

- III. หากว่า แม่พิมพ์เสียหายหรือสึกหรอมาก ต้องทำการซ่อมใหญ่ คือต้องมี การ อบรมช่างก่อนทำการซ่อม และต้องมีใช้เครื่องจักร มาช่วยการทำงานซ่อม เช่น เครื่องกลึง เครื่อง Milling เครื่อง surface grinding m/c เป็นต้น จากนั้นดำเนินการปรับแต่งจนได้ตามแบบที่กำหนด แล้วส่งไปใช้งาน
- IV. หากว่าแม่พิมพ์เสียหายมากไม่สามารถซ่อมใหญ่ได้ หรือหมดอายุการใช้งาน ต้องแยกทิ้ง ไม่นำไปใช้งานการผลิต



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.4 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)

การวิเคราะห์การถดถอย เป็นเทคนิคทางสถิติที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ชนิดคือ ตัวแปรตาม (Dependent variable) หรือในบางครั้งเรียกว่าตัวแปรตอบสนอง (Response variable) กับตัวแปรอิสระ (Independent variable) หรืออาจเรียกว่าตัวแปรถดถอย (Regressor variable) โดยความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้จะอยู่ในรูปของแบบจำลองคณิตศาสตร์ (Mathematical model) และมีชื่อเรียกเฉพาะว่า สมการถดถอย (Regression equation)

สมการถดถอยถูกสร้างขึ้นจากข้อมูลของกลุ่มตัวอย่างจำนวนหนึ่ง ซึ่งบ่อยครั้งที่แหล่งที่มาของข้อมูลได้มาจากการทดลองที่ไม่ได้วางแผนเอาไว้ก่อน (Unplanned experiment) เช่น ข้อมูลที่ได้มาจากการสังเกตปรากฏการณ์ต่างๆ ที่นอกเหนือการควบคุม หรือเป็นข้อมูลที่บันทึกในอดีต แต่อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์การถดถอยจะมีประสิทธิภาพมากขึ้น เมื่อนำมาใช้วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองที่มีการออกแบบการทดลองไว้ก่อนล่วงหน้า (Design Experiment) เพราะโดยทั่วไปแล้ว การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลจะเป็นเทคนิคที่ช่วยให้ผู้วิเคราะห์ว่าปัจจัยบ้างที่มีความสำคัญหรือส่งผลกระทบต่อตัวแปรตอบสนองของการทดลอง ในขณะที่การวิเคราะห์การถดถอยจะถูกนำมาใช้เพื่อสร้างแบบจำลองเชิงปริมาณที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเหล่านั้นกับตัวแปรตอบสนอง

สำหรับตัวอย่างที่แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการวิเคราะห์การถดถอย เช่น ในกรณีของกระบวนการผลิตที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีทางเคมี ซึ่งพบว่าคุณภาพของผลิตภัณฑ์มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต การได้มาซึ่งรูปแบบที่แน่นอนของความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นเรื่องที่น่าสนใจ เพราะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ต่อเนื้ออีกมากมาย โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ใช้ทำนาย (Prediction) แนวโน้มทางด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ใช้หาจุดที่เหมาะสมของกระบวนการผลิต (Process Optimization) หรือนำมาใช้ควบคุมกระบวนการ (Process control) เป็นต้น

การนำการวิเคราะห์การถดถอยไปใช้ใช้อย่างผิดๆ ซึ่งเกิดขึ้นได้เสมอ ทั้งนี้เนื่องจากความเข้าใจผิดพลาดในเรื่องของการวิเคราะห์การถดถอย ดังนั้นเพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการนำการวิเคราะห์การถดถอยไปใช้ ผู้วิเคราะห์ต้องคำนึงถึงสิ่งสำคัญดังต่อไปนี้

- 1) การนำการวิเคราะห์การถดถอยไปใช้เพื่อหารูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งต่างๆ ซึ่งในความเป็นจริงแล้วไม่น่ามีความสัมพันธ์กันเลย ถึงแม้ว่ารูปแบบของความสัมพันธ์ที่ได้จะมีความเหมาะสมกับข้อมูลมากเพียงใดก็ตาม แต่ความสัมพันธ์นั้นก็จะไม่มีความหมายใดๆ เลย และไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ ทั้งนี้เนื่องจากรูปแบบของความสัมพันธ์ที่ได้นั้นไม่ได้ตั้งอยู่บนเหตุและผล จึงไม่น่าเชื่อถือได้

- 2) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่ได้จากการวิเคราะห์การถดถอยนั้น จะเป็นจริงและถูกต้อง เฉพาะ เมื่อตัวแปรถดถอยมีค่าอยู่ในช่วงของข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เท่านั้น การที่จะทำนายค่าของตัวแปรตามจากค่าของตัวแปรถดถอยที่อยู่ภายนอกช่วงดังกล่าวจะทำให้ค่าของตัวแปรตามที่ได้มีความน่าเชื่อถือน้อยลง เนื่องจากข้อสมมุติฐานเกี่ยวกับรูปแบบของความสัมพันธ์ที่อยู่นอกช่วงดังกล่าวมีความไม่แน่นอน

ในการทดลองบางอย่าง รูปแบบที่แน่นอนของความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ อาจจะเป็นที่ทราบแน่ชัดแล้ว แต่ในการทดลองส่วนใหญ่ ผู้ทดลองจะไม่ทราบรูปแบบของความสัมพันธ์นั้นอย่างแน่ชัด ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของผู้วิเคราะห์ที่ต้องหารูปแบบที่จะใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระกับตัวแปรตอบสนองที่เหมาะสมที่สุด จากกลุ่มของข้อมูลที่นำมาทำการวิเคราะห์

รูปแบบของสมการถดถอย แบ่งได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.4.1 Simple Linear Regression ได้แก่สมการที่แสดงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระหนึ่งตัว กับตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัว ซึ่งมีแบบจำลองของความสัมพัทธ์เป็นดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon$$

2.4.2 Multiple Linear Regression ได้แก่สมการถดถอยที่แสดงถึงความสัมพันธ์ที่เป็นเส้นตรงระหว่างตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัวกับตัวแปรตอบสนองหนึ่งตัว โดยมีแบบจำลองของความสัมพัทธ์ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \epsilon$$

2.4.3 Other Regression Models ได้แก่สมการถดถอยที่มีรูปแบบความสัมพันธ์เป็นแบบอื่น เช่น ความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล ดีกรี k ของตัวแปรอิสระเพียงตัวเดียว ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \dots + \beta_k x^k + \epsilon$$

หรือความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียลดีกรี 2 ของตัวแปรอิสระ 2 ตัว ดังนี้

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_{11} x_1^2 + \beta_{22} x_2^2 + \beta_{12} x_1 x_2 + \epsilon$$

ซึ่งวิธีการที่จะใช้รูปแบบของความสัมพันธ์เหล่านี้ จะใช้วิธีการเปลี่ยนรูปแบบความสัมพันธ์ให้อยู่ในรูปของความสัมพันธ์แบบเส้นตรงก่อน แล้วจึงใช้วิธีการของการหาความสัมพันธ์แบบเส้นตรงเพื่อหาสมการถดถอยอีกทีหนึ่ง

การทดสอบความสัมพันธ์ที่ได้มา ว่ามีความน่าเชื่อถือเพียงไร มีวิธีการตรวจสอบดังต่อไปนี้

- 1) สร้างตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยทำเปรียบเทียบค่าปัจจุบันและค่าตอบสนอง ซึ่งปัจจุบัน มี Software ทางสถิติมากมายมาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล
- 2) ตรวจสอบค่า สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient) ของความสัมพันธ์ที่ได้ ควรมากกว่า 80% ขึ้นไป เพื่อสามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลมากกว่า 80% เช่นกัน
- 3) การตรวจสอบความถูกต้องของความสัมพันธ์

3.1) สมมุติฐานความเป็นปกติ คือการสร้างกราฟ Normal Probability Plot ของส่วนตกค้าง เพื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล กราฟที่ได้ควรเป็นเส้นตรง ถ้ามีค่าไหนออกจากเส้นตรง ทำให้ข้อมูลชุดนั้นมีความแปรปรวนสูง ซึ่งที่เรียกกันว่า (Outlier)

3.2) การเขียนกราฟส่วนตกค้างข้อมูลตามลำดับเวลา เพื่อพิจารณาข้อมูลว่ามีความเป็นอิสระหรือไม่ หรือมีความแปรปรวนคงตัว โดยสามารถสังเกตกราฟข้อมูลจะกระจายทั่ว ไม่มีรูปแบบความสัมพันธ์

3.3) การเขียนกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต จะดูค่าของข้อมูลว่ากระจายรอบค่าที่พิจารณาเท่าๆ กัน ถ้าไม่เท่ากันจะดูกราฟจะไม่เป็นทรงกระบอก ซึ่งหมายถึงข้อมูลนั้นมีการแจกแจงที่บิดเบี้ยว

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุทธิวัฒน์ มหัทธมภ์กรร (2539) การศึกษาปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG ที่มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของรอยเชื่อมสำหรับท่อเหล็กกล้าไร้สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 436L โดยการเชื่อมตามหลักการออกแบบการทดลอง จากการศึกษาตัวแปรสำคัญ สามารถกำหนดปัจจัยที่จะทำการศึกษาได้จำนวน 3 ปัจจัย คือ กระแสไฟเชื่อม แรงดันไฟเชื่อม และความเร็วในการเชื่อม พร้อมกำหนดค่าของปัจจัยที่ระดับสูงและระดับต่ำลงในเงื่อนไขการทดลองจำนวน 8 เงื่อนไข เพื่อทำการทดลองเชื่อมโดยใช้ค่าของปัจจัยตามที่กำหนดไว้ นำท่อที่ได้จากการเชื่อม มาทดสอบทางกล วัดค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดของตะเข็บเชื่อมและเส้นผ่านศูนย์กลางขยายของชิ้นงานทดสอบการบานท่อ ประกอบกับการดูภาพโครงสร้างทางโลหะบริเวณแนวเชื่อม จากนั้นนำผลการทดสอบมาวิเคราะห์พร้อมก็นำค่าของปัจจัยไปลองใช้งาน

กาญจนา กาญจนสุนทร (2539) ส่วนประสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่นที่มีส่วนประกอบหลักของ Dioctyl Phthalate (DOP) แคลเซียมคาร์บอเนต และซีรีคลอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมกับคุณสมบัติที่ต้องการ ภายใต้ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยต่ำสุด การวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การกำหนดสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต และการกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำซีรีคลอมาใช้ทดแทน DOP

ชิ้นงานที่มีส่วนประกอบหลักระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต ได้ถูกเตรียมขึ้นโดยใช้ปริมาณ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต อยู่ระหว่าง 30-90 และ 0-100 ส่วนต่อ 100 ส่วนของพีวีซีเรซินโดยน้ำหนัก (phr.) ตามลำดับ จากนั้นได้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ได้แก่ความถ่วงจำเพาะ แรงดึงที่จุดขาด เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น โมดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็งของชิ้นงานพลาสติก สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติกับสัดส่วนการใช้ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตได้ศึกษาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อกำหนดสมการเงื่อนไขของการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม โดยมีสมการเป้าหมาย คือ ต้นทุนวัตถุดิบใช้ต่อหน่วยต่ำสุด

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการนำซีรีคลอมาใช้ทดแทน DOP ได้นำสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตมาทำการศึกษา โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าคงที่ และลดปริมาณการใช้ DOP ลง พร้อมเพิ่มปริมาณการใช้ซีรีคลอขึ้น

ผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า สัดส่วนการผสมที่เหมาะสมของการศึกษาระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต คือ ปริมาณการใช้ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเท่ากับ 72.07 และ 70.45 phr. ตามลำดับ จุดการผสมดังกล่าวจะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย เท่ากับ 19.66 บาท/กิโลกรัม และ เมื่อนำซีรีคลอมาทดแทน DOP จะสามารถทดแทน DOP ได้ในปริมาณ 35 phr. หรือคิดเป็น 51% ของปริมาณ DOP ที่ต้องใช้ ซึ่งจุดการผสมนี้ จะทำให้ต้นทุนของวัตถุดิบต่อหน่วยลดลงจาก 19.66 บาท/กิโลกรัม เหลือ 18.66 บาท/กิโลกรัม หรือลดลงเท่ากับ 1.00 บาท/กิโลกรัม

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

การดำเนินการวิจัย

การทดลองงานเชื่อมแบบ Powder Spraying เพื่อยึดแม่พิมพ์รูปปากขวดโดยนำแม่พิมพ์ที่ไม่สามารถใช้งานได้มาปรับสภาพ ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้ คือ

การทดลองตอนที่ 1 เป็นการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของรอยเชื่อมของผงเชื่อมชนิด A, B และ C ที่อุณหภูมิการอบขึ้นงานต่างๆ กัน รวมทั้งลักษณะและส่วนประกอบของเชื่อมดังกล่าว

การทดลองตอนที่ 2 ทดลองเชื่อมแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ ตามเงื่อนไขคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ของแต่ละผงเชื่อมจากการทดลองตอนที่ 1 แล้วนำไปใช้งานจริง เพื่อศึกษาอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น

โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยทั้งหมดดังนี้

1. การเตรียมชิ้นงานเชื่อมและการขึ้นรูปชิ้นงาน
2. การตรวจสอบรูปทรงและลักษณะผงเชื่อม
 - 2.1 การตรวจสอบรูปทรงผงวัสดุ
 - 2.2 การตรวจสอบการกระจายของขนาดวัสดุ
3. การตรวจหาส่วนผสมของผงเชื่อม
4. การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล
 - 4.1 ค่าทนแรงดึง (Tensile strength)
 - 4.2 เปอร์เซนต์ความยืดหยุ่น (% Elongation)
 - 4.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)
 - 4.4 ความแข็ง (Hardness)
5. การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

6. การนำเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมไปจัดทำแม่พิมพ์เพื่อใช้งานจริง นำเงื่อนไขที่ดีที่สุดของแต่ละผงเชื่อม มาจัดทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดเพื่อศึกษาอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และทำการวิเคราะห์ผล

3.1 การเตรียมชิ้นงาน และการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์

วัสดุ และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมและขึ้นรูปชิ้นงาน สำหรับการศึกษานี้ คือ

1. ผงเชื่อม A, B และ C ซึ่งมีรายละเอียดของส่วนประกอบดังนี้

Items	Spray powder for welding	Hardness	Norminal Composition (%)
A	Comonoy No.22	28-33 RC	C 0.50 Si 3.4
			Cr 0.50 Fe 0.75
			B 1.5 Ni Balance
B	Comonoy No.24	16-23 RC	C 0.15 Si 2.5
			Cr 0.50 Fe 0.75
			B 1.5 Ni Balance
C	Comonoy No.225	96 RB	Si = 10 mg/m ³
			Insert material : Trade Secret
			B 0 Ni 80-95%

หมายเหตุ : รายละเอียดคุณสมบัติเพิ่มเติมสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ค

ตารางที่ 3.1 แสดงคุณสมบัติของผงเชื่อมที่ทำการทดลอง

- ผงเชื่อม A คือ ผงเชื่อม Colmonoy No.22 หมายเลข Lot การผลิต คือ 907
- ผงเชื่อม B คือ ผงเชื่อม Colmonoy No.24 หมายเลข Lot การผลิต คือ 677
- ผงเชื่อม C คือ ผงเชื่อม Colmonoy No.225 หมายเลข Lot การผลิต คือ 315

ผงเชื่อมดังกล่าวจะมาดำเนินการทดลองทั้งงานวิจัยนี้

2. แท่งบรอนซ์ซิลิคอน (Silicon Bronze) สั่งหล่อมาตามค่าที่กำหนดไว้ซึ่งแสดงข้างล่างนี้

ALLOY : CUBRASS		MT-BZ-01		18-Nov-2002 71.02 ✓					
Sample in : 3									
Sn	Zn	Pb	Fe	Ni	Al	P	Si	Mn	As
.0590	7.0759	.1920	.9695	14.128	9.2341	.0094	.0320	.0110	.007
Be	S	Bi	Cu						
.0043	0.0000	0.0000	68.255						

รูปที่ 3.1 แสดงส่วนผสมของแท่งบรอนซ์ซิลิคอน

- ชุดจับชิ้นงานเชื่อมทดสอบ
- เตาอบชิ้นงานที่สามารถควบคุมอุณหภูมิ 350-650 °C
- ชุดเชื่อมโลหะผง
- เครื่องกลึง

3.1.2 การเตรียมชิ้นงานเชื่อม

วิธีการเตรียมชิ้นงานสำหรับงานวิจัยนี้มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- สวมเชื่อมชิ้นงานตามเงื่อนไข ตามตารางแผนการทดลอง ตามตารางที่ 3.2

เงื่อนไขที่	ชนิดของผงเชื่อม	อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน
1	A	400
2	A	500
3	A	600
4	B	400
5	B	500
6	B	600
7	C	400
8	C	500
9	C	600

หมายเหตุ 1. ทุกเงื่อนไขดำเนินการอบที่อุณหภูมินั้น 3 ชั่วโมง แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในเตาอบ

2. การทดลองกระทำซ้ำ 3 ครั้ง (3 replicate)

ตารางที่ 3.2 แสดงเงื่อนไขในการเชื่อมชิ้นงาน

2. นำแท่งบรอนซ์ซิลิคอนมาทำการกลึง สำหรับเตรียมงานเชื่อม โดยกลึงชิ้นงานก่อนทำการเชื่อมขนาด 3/8" ยาว 2.5" ที่ปลายกลึงองศาเท 30 องศา ยาว 1/8" (ดังแสดงในรูปที่ 3.6)



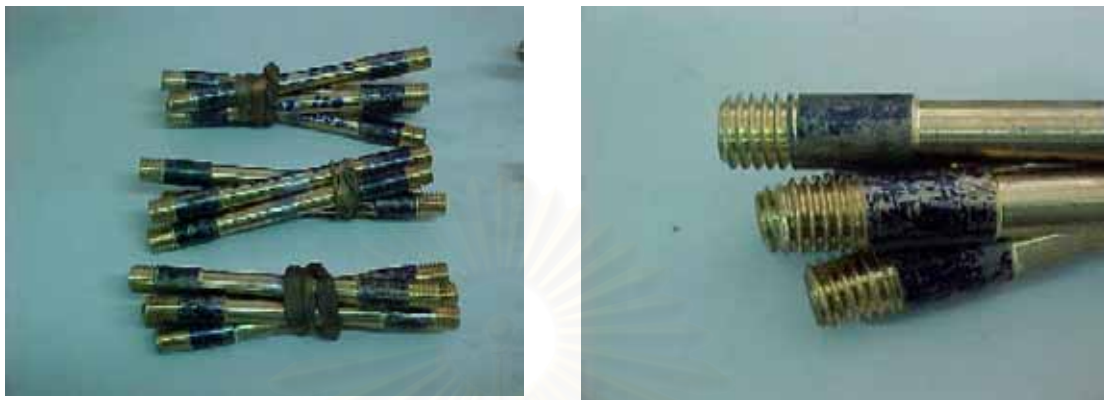
รูปที่ 3.2 แสดงการกลึงชิ้นงานทดสอบก่อนนำไปเชื่อม

3. ดำเนินการเชื่อมชิ้นงานตามเงื่อนไขในข้อที่ 1 ชุดจับชิ้นงานทดสอบสำหรับเชื่อมงาน เนื่องจากกำหนดขนาดชิ้นงาน คือ เส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8" ยาว 3" สามารถกำหนดสามารถกำหนดระยะที่ต้องการเชื่อมได้ โดยตั้งการเชื่อม ค่าความดัน Acetylene 12-15 PSI และ Oxygen 50 PSI ดังแสดงดังรูป



รูปที่ 3.3 แสดง ชุดจับชิ้นงานเชื่อมทดสอบ

4. ดำเนินการกลึงผิวบริเวณที่เชื่อมออก โดยให้เหลือเส้นผ่านศูนย์กลาง 5/16" ยาว 5" และกลึงเกลียวที่ปลายชิ้นงานทดสอบทั้งสองด้านเพื่อติดตั้งเข้ากับชุดจับชิ้นงานเชื่อม



รูป 3.4 แสดงชิ้นงานเชื่อมที่ทำการกลึงเรียบร้อยแล้วและพร้อมที่นำไปทดสอบหาค่าตดแรงดึง

3.2 การตรวจสอบรูปทรง และการกระจายของขนาดของผงเชื่อมโลหะ

3.2.1 การตรวจสอบรูปทรงผงเชื่อมโลหะ

เป็นการศึกษาลักษณะรูปทรงของผงเชื่อม A, B และ C ด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) โดยเครื่องที่ผลิตมาจาก บริษัท Jeol Co., Ltd. รุ่น JSM-5800LV ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยนำผงเชื่อมโลหะที่ต้องการมาศึกษา โรยลงแผ่นกราฟไฟต์ที่ใช้สำหรับดูผงโลหะ แล้วนำผงวัสดุดังกล่าวไปส่องดูด้วยเครื่อง SEM เลือกรูปความต่างศักย์ และกำลังขยายที่เหมาะสม จากนั้นทำการถ่ายภาพที่ต้องการ

3.2.2 การตรวจสอบการกระจายของผงเชื่อมโลหะ

เป็นการศึกษาการกระจายตัวของขนาดผงเชื่อม A, B และ C ด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายของขนาดผงวัสดุ (Particle size distribution analyzer) โดยเครื่องผลิตจาก บริษัท Marvern English Co., Ltd. รุ่น Mastersizer S จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย วางผงเชื่อมที่เกลี่ยแล้วบนแผ่นกราฟไฟต์ แล้วเปิดแสง

เลเซอร์ส่องไปที่ฝั่งเชื่อม จะได้ผลการวิเคราะห์ในรูปของตารางและกราฟ ซึ่งแสดงการกระจายตัวของขนาดของฝั่งเชื่อม

3.2.3 การตรวจหาส่วนผสมของฝั่งเชื่อม

เป็นการศึกษาหาส่วนประกอบของฝั่งเชื่อม A B และ C ว่าประกอบไปด้วยธาตุอะไรบ้าง สัดส่วนเท่าไร โดยใช้เครื่องมือ XRD : ตรวจวัด Diffactogram ของฝั่งเชื่อม โดยทำการทดลองเมื่อวันที่ 21 ตุลาคม 2545 สถานที่ : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และวิเคราะห์ ธาตุ ด้วย EDS โดยทำการทดลองเมื่อวันที่ 10 ตุลาคม 2545 สถานที่ : ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ

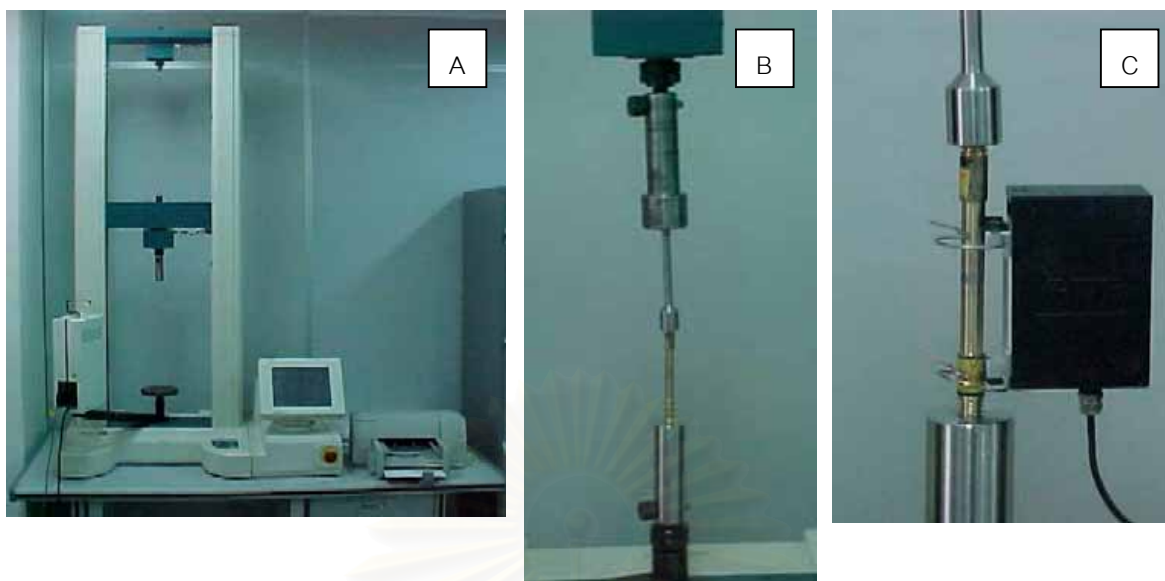
คุณสมบัติเชิงกลที่จะทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ

1. คุณสมบัติภายใต้แรงดึงของรอยเชื่อม (Tensile property of welding zone)
2. ความแข็ง (Hardness)
3. การตรวจสอบขนาดของเกรน (Grain size) ของรอยเชื่อมภายหลังการดึง

3.3.1 คุณสมบัติภายใต้แรงดึงของรอยเชื่อม (Tensile properties of welding zone)

นำชิ้นงานเชื่อมตามเงื่อนไข มาทดสอบเพื่อหาค่าแรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength) เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (% elongation) และโมดูลัสความยืดหยุ่น (modulus of elasticity) ของชิ้นงาน โดยใช้เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile tester) ของบริษัท Hounsfield Test Equipment Co.,Ltd. รุ่น H20K-W (ดังแสดงในรูปที่ 3.5) เลือกใช้เมนูสำหรับการทดสอบเป็น Secant Modulus Test [PS25/50] โดยมีชุด PS50 ติดตั้งกับชิ้นงานทดสอบ สามารถวัดค่าแรงดึง และเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ณ จุดชิ้นงานที่ขาด

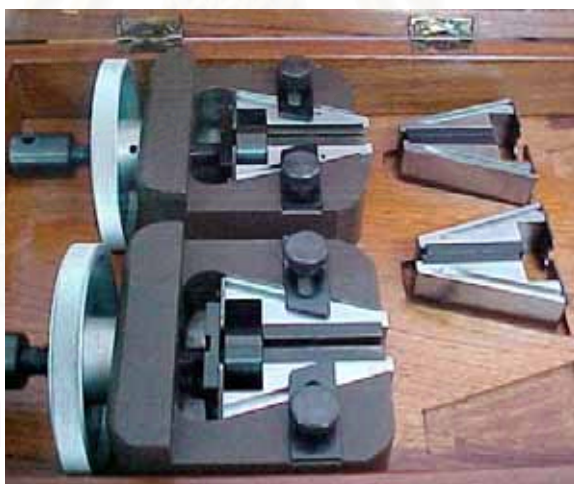
ส่วนชุดจับชิ้นงานเพื่อดึงของเดิม การจับยึดไม่เพียงพอกับชิ้นงานเชื่อม จึงทำการออกแบบใหม่ เพื่อใช้งานดังรูปที่ 3.6-3.7



รูปที่ 3.5 A: แสดง เครื่องทดสอบแรงดึง Model: H20K-W

B: แสดงการติดตั้งชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง

C: แสดงการติดตั้ง PS-50 กับชิ้นงานทดสอบ เพื่อวัดระยะยืด



รูปที่ 3.5 แสดง ชุดหัวจับชิ้นงานเชื่อมสำหรับดึงหาค่าทนแรงดึงแบบเดิม



รูป 3.7 แสดง ชุดจับชิ้นงานเชื่อมสำหรับทดสอบค่าทนแรงดึง ที่ออกแบบมาใหม่

สำหรับการทดสอบนี้ ได้กำหนดค่าความเร็วสำหรับการทดสอบ (Test Speed) ไว้ที่ 1 มิลลิเมตร/นาที และชิ้นงานที่จะต้องทำการทดสอบสำหรับแต่ละตัวอย่างเท่ากับ 3 ชิ้นงาน (ทดสอบความแข็งแรงอีก 1 ชิ้นงาน)

สำหรับสูตรที่ใช้สำหรับคำนวณค่าแรงดึงที่จุดขาด เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น และ โมดูลัสความยืดหยุ่น แสดงไว้ในสมการที่ 3.2, 3.3 และ 3.49 ตามลำดับดังนี้

$$S = \frac{F_{\max}}{A} \quad (3.2)$$

เมื่อ

S = แรงดึงที่จุดขาด (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)

F_{\max} = ขนาดของแรงดึงที่ทำให้ชิ้นงานขาดออกจากกัน (นิวตัน)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน (ตารางมิลลิเมตร)

$$E = \frac{(I_{\max} - I_0) \times 100}{I_0} \quad (3.3)$$

เมื่อ	E	=	เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (เปอร์เซ็นต์)
	l_{max}	=	ความยาวสูงสุดที่อ่านได้ก่อนที่ชิ้นงานจะขาดออกจากกัน (มิลลิเมตร)
	l_0	=	ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบที่ใช้เป็นเกณฑ์ (Gage length) (มิลลิเมตร)

$$M = \frac{(F \times l_0)}{A \times (l - l_0)} \quad (3.4)$$

เมื่อ	M	=	โมดูลัสความยืดหยุ่น (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร)
	F	=	ขนาดของแรงดึงที่ทำให้ความยาวของชิ้นงานทดสอบเปลี่ยนแปลงไป l (นิวตัน)
	l_0	=	ความยาวเริ่มต้นของชิ้นงานทดสอบที่ใช้เป็นเกณฑ์ (Gage length) (มิลลิเมตร)
	l	=	ความยาวของชิ้นงานทดสอบที่ขณะใดๆ (มิลลิเมตร)
	A	=	พื้นที่หน้าตัด บริเวณส่วนที่รับแรงดึง (ตารางมิลลิเมตร)

3.3.2 ความแข็ง (Hardness)

นำชิ้นงานเชื่อม มาทำการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง Rockwell hardness tester: Wilson 500 model B534-T ใช้ Rockwell B scale จะทำการจุดทั้งสิ้น 5 จุดบนชิ้นงาน

3.3.3 การตรวจสอบขนาดของเกรน (Grain size) ของรอยเชื่อมภายหลังการดึง

เป็นการศึกษาลักษณะของขนาดเกรนของรอยเชื่อมภายหลังทำการทดสอบแรงดึง โดยใช้เครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ของบริษัท Jeol Co.,Ltd. รุ่น JSM-6400 จากศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยทำ

การตัดรอยเชื่อมออกจากชิ้นงาน ให้มีขนาดประมาณ 0.5 เซนติเมตร แล้วขึ้นไปส่องด้วย SEM ทำการเลือกความต่างศักย์และกำลังขยายที่เหมาะสม แล้วทำการถ่ายภาพที่ต้องการ

3.4 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติของข้อมูลทดลอง ที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติด้านต่างๆ ในงานวิจัยฉบับนี้ มีดังต่อไปนี้

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)
2. การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis)
3. การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

3.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพ เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญของผลกระทบของประเภทของผงเชื่อม และอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน โดยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ชื่อ MINITAB Release 13 ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล

3.4.2 การวิเคราะห์การถดถอย

เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ เพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกลและกายภาพ กับชนิดของผงเชื่อม อุณหภูมิการอบชิ้นงาน รวมไปถึงสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงคุณสมบัติกับคุณสมบัติ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ชื่อ MINITAB Release 13 ช่วยในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์

3.4.3 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

เมื่อได้สมการแทนความสัมพันธ์ที่พิจารณา โดยมีวิธีการตรวจสอบ ดังนี้คือ

- ทำการตรวจสอบข้อมูลโดยการเขียนกราฟ Normal Probability Plot เพื่อตรวจสอบสิ่งผิดปกติ Outlier ที่ทำให้การวิเคราะห์ความแปรปรวนบิดเบือนไป
- การเขียนกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลา เพื่อพิจารณาว่ามีการกระจายสม่ำเสมอหรือไม่ เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัว

- การเขียนกราฟส่วนตค่างกับค่าที่ถูกพิต ซึ่งพิจารณาแบบจำลองถูกต้องหรือไม่ โดยพิจารณาส่วนตค่างกับค่าที่ถูกพิต ควรจะไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ

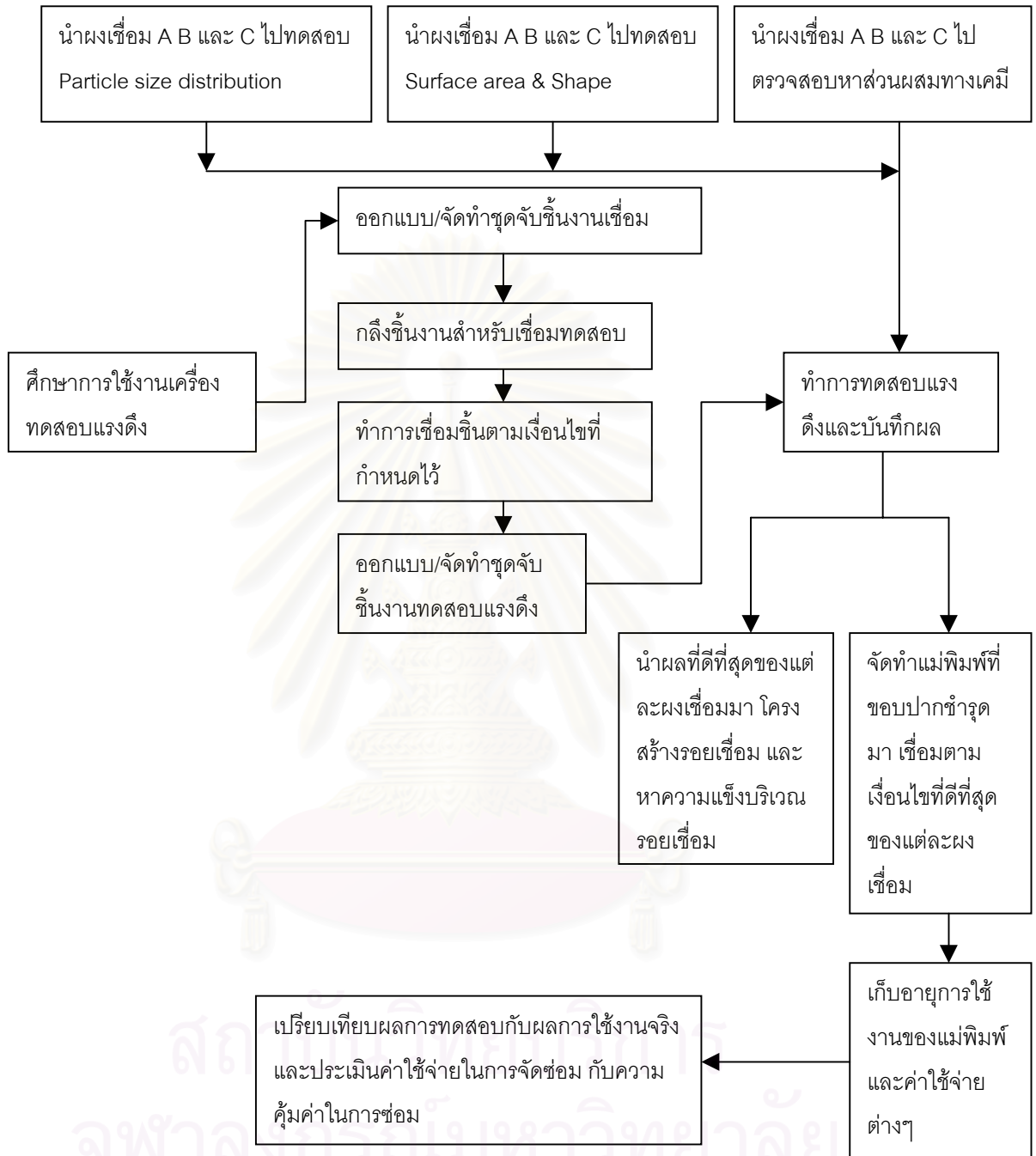
3.4.4 การนำเงื่อนไขการทดลองที่เหมาะสมไปจัดทำแม่พิมพ์เพื่อใช้งานจริง

นำเงื่อนไขที่ดีที่สุดของแต่ละผงเชื่อม มาจัดทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดเพื่อศึกษาอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และทำการวิเคราะห์ผล



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขั้นตอนการทดลองต่างๆ สามารถสรุปเป็นแผนภูมิ ข้างล่างนี้



รูปที่ 3.8 แสดงแผนภูมิ ขั้นตอนการทดลอง

บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

การดำเนินการวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้ได้ถูกกำหนดเป็นขั้นตอนที่กล่าวไว้ในบทที่ 3 กล่าวคือ ได้เตรียมชิ้นงานเชื่อมตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ ตามแผนการทดลองที่ 3.1 แล้วนำชิ้นงานที่เตรียมไว้มาทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเชิงกล และทางกายภาพ อันได้แก่ ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม(Hardness at welding zone) ค่าแรงดึงที่จุดขาด (Tensile strength) เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น(% Elongation) โมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)

ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 งานวิจัยนี้ได้กำหนดการทดลองออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาคูณสมบัติเชิงกลของรอยเชื่อมของผงเชื่อมชนิด A, B และ C ที่อุณหภูมิการอบชิ้นงานต่างๆ กัน รวมทั้งลักษณะและส่วนประกอบของเชื่อมดังกล่าว และ ตอนที่ 2 ทดลองเชื่อมแม่พิมพ์ที่เตรียมไว้ ตามเงื่อนไขคุณสมบัติเชิงกลที่ดีที่สุด ของแต่ละผงเชื่อมจากการทดลองตอนที่ 1 แล้วนำไปใช้งานจริง เพื่อศึกษาอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงได้แบ่งการทดลอง และการวิเคราะห์ออกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังนี้

1. การตรวจสอบรูปทรง และการกระจายของขนาดของผงเชื่อมโลหะ
 - 1.1 ผลการตรวจสอบรูปทรงของผงเชื่อมโลหะ
 - 1.2 ผลการตรวจสอบการกระจายของผงเชื่อมโลหะ
 - 1.3 ผลการการตรวจสอบหาส่วนผสมของผงเชื่อม
2. ผลการทดลองของผงเชื่อมโลหะที่อุณหภูมิต่างๆ
 - 2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ
 - 2.2 การวิเคราะห์ผลเชิงสถิติ
3. การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ
4. ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์
 - 4.1 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ของแต่ละผงเชื่อมที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด
 - 4.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการจัดซ่อม

5. สรุปผลตารางการทดลอง

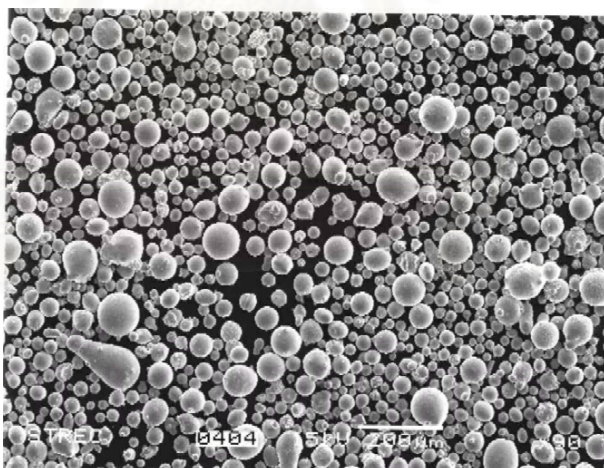
4.1 การตรวจสอบรูปทรง และการกระจายของขนาดของผงเชื่อมโลหะ

4.1.1 ผลการตรวจสอบรูปทรงของผงเชื่อมโลหะ (Surface area and shape)

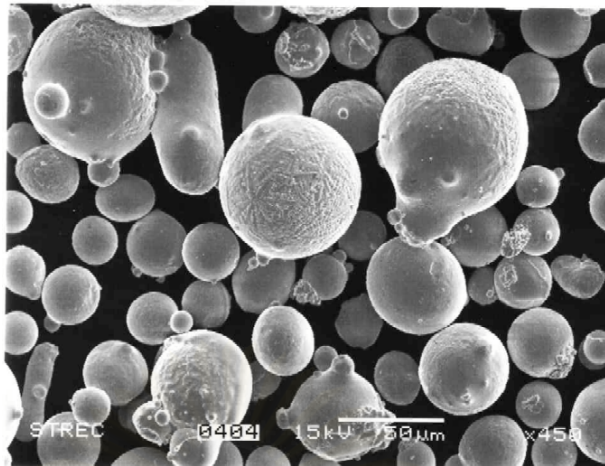
นำผงเชื่อมตัวอย่าง A B และ C เข้าเครื่อง SEM: JSM-5800LV มาศึกษารูปร่าง และพื้นที่ผิวของผงเชื่อม ซึ่งเป็นกล้องจุลทรรศน์กำลังขยายสูง และทำการจับภาพที่กำลังขยายที่ 90 และ 450 ตามลำดับ ทำให้ทราบรายละเอียดของผงเชื่อมแต่ละชนิด โดยพบว่า ผงเชื่อมแต่ละชนิดมีลักษณะค่อนข้างกลม มีเส้นผ่านศูนย์กลางของแต่ละผงเชื่อมมีดังนี้

- สำหรับผงเชื่อม A เส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 77.78 ไมโครเมตร
- สำหรับผงเชื่อม B เส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 80.10 ไมโครเมตร
- สำหรับผงเชื่อม C เส้นผ่านศูนย์กลางโดยประมาณ 50.00 ไมโครเมตร

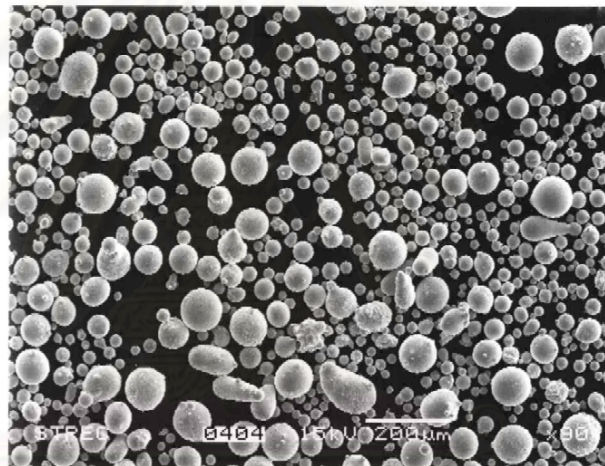
รูปที่ 4.1 แสดงรูปร่างและพื้นที่ผิวของผงเชื่อม A (No.22) ที่กำลังขยาย 90 เท่า



สถ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



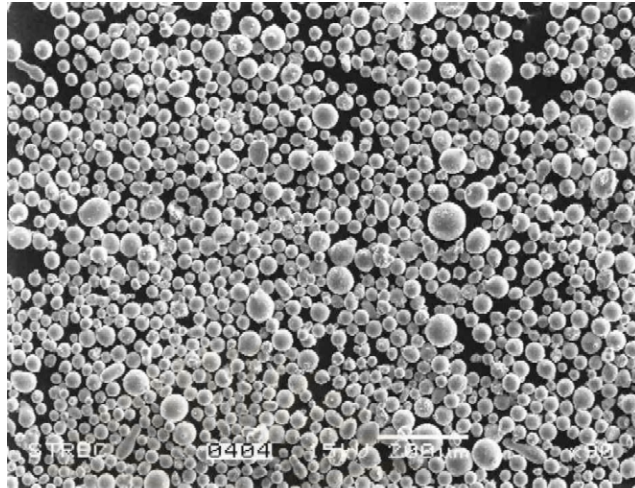
รูปที่ 4.2 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม A (No.22) ที่กำลังขยาย 450 เท่า



รูปที่ 4.3 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม B (No.24) ที่กำลังขยาย 90 เท่า



รูปที่ 4.4 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม B (No.24) ที่กำลังขยาย 450 เท่า



รูปที่ 4.5 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม C (No.225) ที่กำลังขยาย 90 เท่า



รูปที่ 4.6 แสดงรูปร่างและพื้นผิวของผงเชื่อม C (No.225) ที่กำลังขยาย 450 เท่า

4.1.2 ผลการตรวจสอบการกระจายของผงเชื่อมโลหะ (Particle size distribution)

ผงเชื่อม A B และ C ได้นำมาตรวจสอบขนาด การกระจายตัวของขนาดต่างๆ ของผงเชื่อม โดยนำผงเชื่อมแต่ละชนิด ทำการแบ่งออกตัวอย่างละ 3 ตัวอย่าง เพื่อทำการทดสอบ โดยใช้เครื่อง XRD ผลแสดงดังตาราง 4.1

จากตารางที่ 4.1 และ รูปที่ 4.7-4.9 จะเห็นว่า มีผงเชื่อม A มีขนาดโดยเฉลี่ย ($D[4,3]$) 49.91 ไมโครเมตร ค่ามัธยฐาน ($D(v,0.5)$) เท่ากับ 42.88 ไมโครเมตร มีรูปแบบการกระจายของขนาดใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ช่วงการกระจายตัว 9.00-409.45 ไมโครเมตร

มีผงเชื่อม B มีขนาดโดยเฉลี่ย ($D[4,3]$) 50.06 ไมโครเมตร ค่ามัธยฐาน ($D(v,0.5)$) เท่ากับ 42.94 ไมโครเมตร มีรูปแบบการกระจายของขนาดใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ช่วงการกระจายตัว 9.00-409.45 ไมโครเมตร

มีผงเชื่อม C มีขนาดโดยเฉลี่ย ($D[4,3]$) 49.42 ไมโครเมตร ค่ามัธยฐาน ($D(v,0.5)$) เท่ากับ 42.83 ไมโครเมตร มีรูปแบบการกระจายของขนาดใกล้เคียงกับการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) ช่วงการกระจายตัว 9.00-351.46 ไมโครเมตร

ชนิดของผงเชื่อม	Run No.	Mean Diameter (um)					Span	Uniformity
		D (v,0.1)	D (v,0.5)	D (v,0.9)	D(4,3)	D(3,2)		
A (No.22)	11	27.16	42.83	69.78	49.40	40.43	0.9952	0.3864
	8	26.17	43.79	79.37	52.07	40.37	1.2150	0.4467
	6	26.19	42.01	69.91	48.25	38.92	1.0410	0.3921
	Average	26.51	42.88	73.02	49.91	39.91	1.0837	0.4084
B (No.24)	1	27.30	42.01	70.37	49.66	40.19	1.0250	0.4092
	8	27.60	44.09	73.22	50.48	41.49	1.0350	0.3806
	16	27.00	42.73	71.07	50.04	40.43	1.0310	0.4064
	Average	27.30	42.94	71.55	50.06	40.70	1.0303	0.3987
C(No.225)	7	28.37	42.42	68.37	48.45	40.80	0.9429	0.3582
	9	28.07	42.06	69.49	49.59	40.63	0.9850	0.3970
	11	28.33	44.01	72.92	50.23	41.95	1.0130	0.3667
	Average	28.26	42.83	70.26	49.42	41.13	0.9803	0.3740

หมายเหตุ : ข้อมูลอ้างอิงและเพิ่มเติมสามารถดูได้จากภาคผนวก ก

ตารางที่ 4.1 แสดงสรุปการกระจายของผงเชื่อม A B และ C

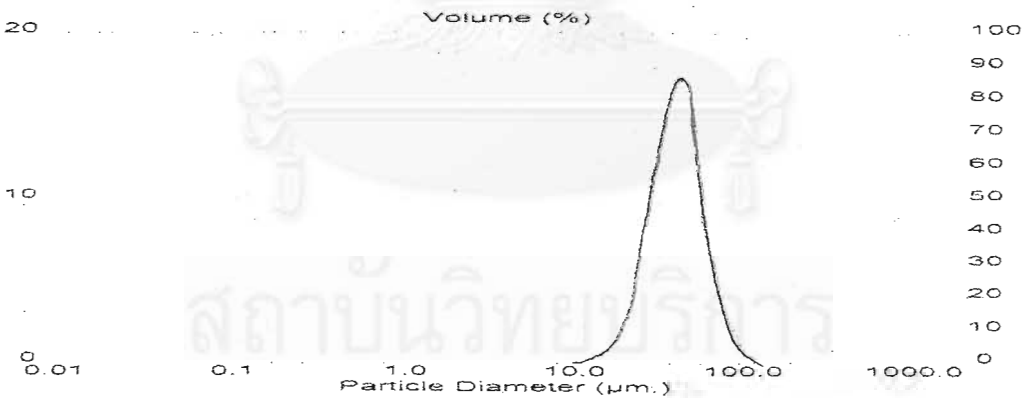
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 3.8 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = (1.4500, 0.1000)];	Dispersent R.I. = 1.0000]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.365 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0051 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1484 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 27.16 um	D (v, 0.5) = 42.83 um	D (v, 0.9) = 69.78 um
D [4, 3] = 49.40 um	D [3, 2] = 40.43 um	Span = 9.952E-01	Uniformity = 3.864E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	4.68	26.20	8.27
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.65	30.53	16.92
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	13.03	35.56	29.95
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	16.26	41.43	46.21
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	17.28	48.27	63.48
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	13.98	56.23	77.46
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.65	65.51	87.11
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	6.01	76.32	93.12
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.37	88.91	96.49
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.52	103.58	98.01
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.34	120.67	98.36
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.36
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.36
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.36
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.10	222.28	98.46
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.37	258.95	98.83
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.48	301.68	99.31
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.41	351.46	99.73
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.23	409.45	99.95
9.00	0.02	10.48	0.02	409.45	0.05	477.01	100.00
10.48	0.04	12.21	0.06	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.13	14.22	0.19	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.35	16.57	0.54	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.90	19.31	1.44	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.16	22.49	3.59				

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.22) run 11



Malvern Instruments Ltd
Malvern, UK
Tel: 0564 692456 Fax: 0564 692789

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number:

06 Opt 02

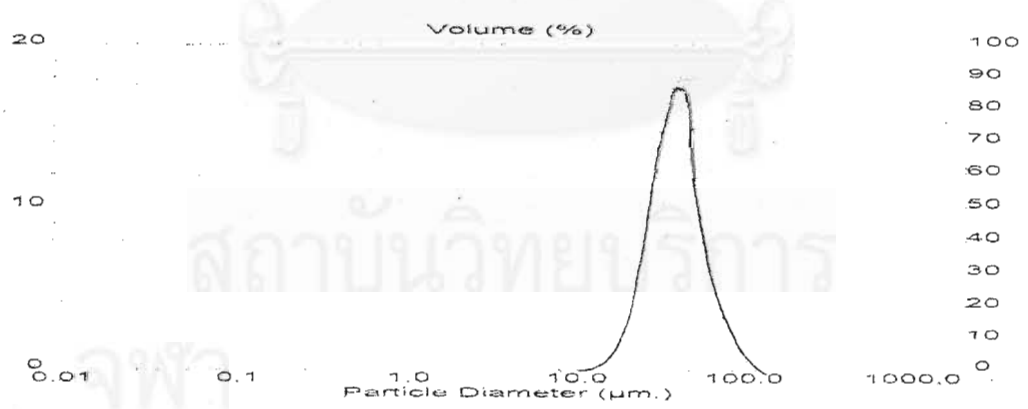
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.22) run 11

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 4.2 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = (1.4500, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.0000]	Residual: 0.426 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0056 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1493 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 27.30 um	D (v, 0.5) = 42.01 um	D (v, 0.9) = 70.37 um
D [4, 3] = 49.66 um	D [3, 2] = 40.19 um	Span = 1.025E+00	Uniformity = 4.092E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	4.75	26.20	8.12
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	9.22	30.53	17.34
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	14.12	35.56	31.46
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	16.95	41.43	48.40
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	16.89	48.27	65.30
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	12.96	56.23	78.25
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	8.80	65.51	87.05
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	5.57	76.32	92.62
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.24	88.91	95.86
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.55	103.58	97.40
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.43	120.67	97.84
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	97.84
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	97.84
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	97.84
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.39	222.28	98.22
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.63	258.95	98.85
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.59	301.68	99.44
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.38	351.46	99.82
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.16	409.45	99.98
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.02	477.01	100.00
10.48	0.04	12.21	0.05	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.11	14.22	0.16	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.31	16.57	0.48	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.82	19.31	1.30	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.07	22.49	3.36				

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม B (No.24) run 11



Malvern Instruments Ltd
Malvern, UK
Tel: 0884 892456 Fax: 0684 892788

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
Serial Number:

06 Oct 02 11

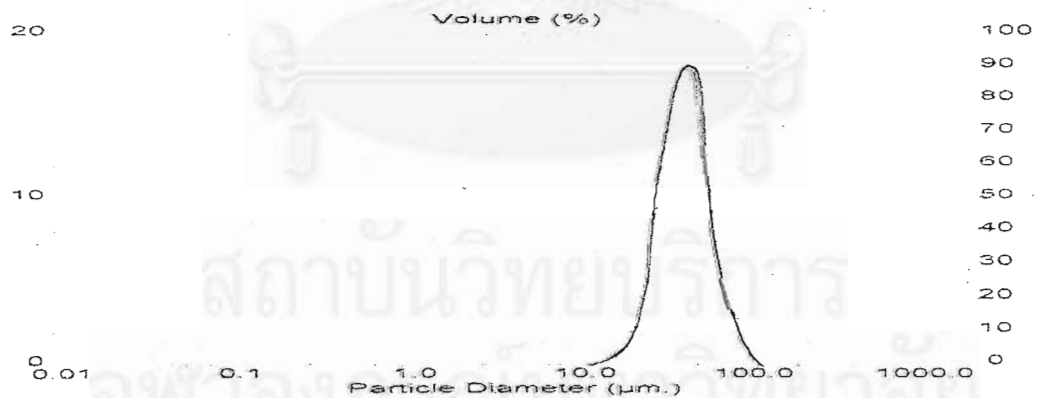
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.24) run 11

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 5.1 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = { 1.4500, 0.1000};	Dispersant R.I. = 1.0000]	Residual: 0.422 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: Nona			

Result Statistics			
Distribution Type/Volume	Concentration = 0.0070 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1470 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 28.37 um	D (v, 0.5) = 42.42 um	D (v, 0.9) = 68.37 um
D [4, 3] = 48.45 um	D [3, 2] = 40.80 um	Span = 9.429E-01	Uniformity = 3.582E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	3.96	26.20	6.24
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.86	30.53	15.10
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	14.52	35.56	29.62
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	17.56	41.43	47.18
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	17.57	48.27	64.74
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	13.79	56.23	78.53
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.50	65.51	88.04
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	5.87	76.32	93.90
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.18	88.91	97.08
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.33	103.58	98.41
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.21	120.67	98.61
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.61
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.61
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.61
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.14	222.28	98.75
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.36	258.95	99.12
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.41	301.68	99.52
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.29	351.46	99.82
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.18	409.45	100.00
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	0.02	12.21	0.03	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.06	14.22	0.09	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.19	16.57	0.28	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.53	19.31	0.81	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	1.47	22.49	2.28				

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม B (No.225) run 7



Malvern Instruments Ltd.
 Malvern, UK
 Tel: 0984 892456 Fax: 0984 892769

Mastersizer S long bed Ver. 2.19
 Serial Number:

06 Oct 02 15

รูปที่ 4.9 กราฟแสดงผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดของผงเชื่อม A (No.225) run 7

4.1.3 ส่วนประกอบทางเคมีของผงเชื่อม

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของผงเชื่อม A B และ C โดยใช้เครื่อง XRD และ EDS ผลที่สามารถสรุปมาดังตารางที่ 4.2

ชนิดของผงเชื่อม	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)				
	Ni	Si	C	O	P
A (Colmonoy No.22)	Balance	18	4.8	5	6.3
	Balance	18.5	4	6	7.8
Average	Balance	18.25	4.4	5.5	7.05
B (Colmonoy No.24)	Balance	10	3.8	5	0
	Balance	10	5	5	0
Average	Balance	10	4.4	5	0
C (Colmonoy No.225)	Balance	11	3	5.2	19
	Balance	11	3.5	5	26
Average	Balance	11	3.25	5.1	22.5
หมายเหตุ เอกสารอ้างอิงใน ภาคผนวก					

ตารางที่ 4.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของผงเชื่อม A B และ C

4.2 ผลการทดลองของผงเชื่อมโลหะที่อุณหภูมิอบชิ้นงานต่าง ๆ

4.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ

4.2.1.1 แรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength)

นำชิ้นงานเชื่อมทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ 9 เงื่อนไข โดยทุกเงื่อนไขทำการ Annealing ที่อุณหภูมิที่กำหนดในแต่ละเงื่อนไข โดยทำการอบ 3 ชม. จากนั้นให้เย็นตัวในเตาอบ แล้วนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบ แรงดึงที่เครื่องหาค่าแรงดึง H.T.E, Model: H20K-W จำนวน 27 ชิ้นงาน โดยตั้งค่าสำหรับการทดสอบแรงดึงดังนี้ ตั้งอัตราความเร็วในการดึงที่ 1 mm/min. ตั้งขีดจำกัดของแรงที่ทำการดึง 19,000 N. ตั้งขนาดชิ้นงานไว้ที่ 5/16" และดำเนินการติดตั้ง PS50 กับชิ้นงานทดสอบ เพื่อหาระยะยืด โดยทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ 3.1 โดยกระทำซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลปรากฏแสดงในตารางที่ 4.3 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า

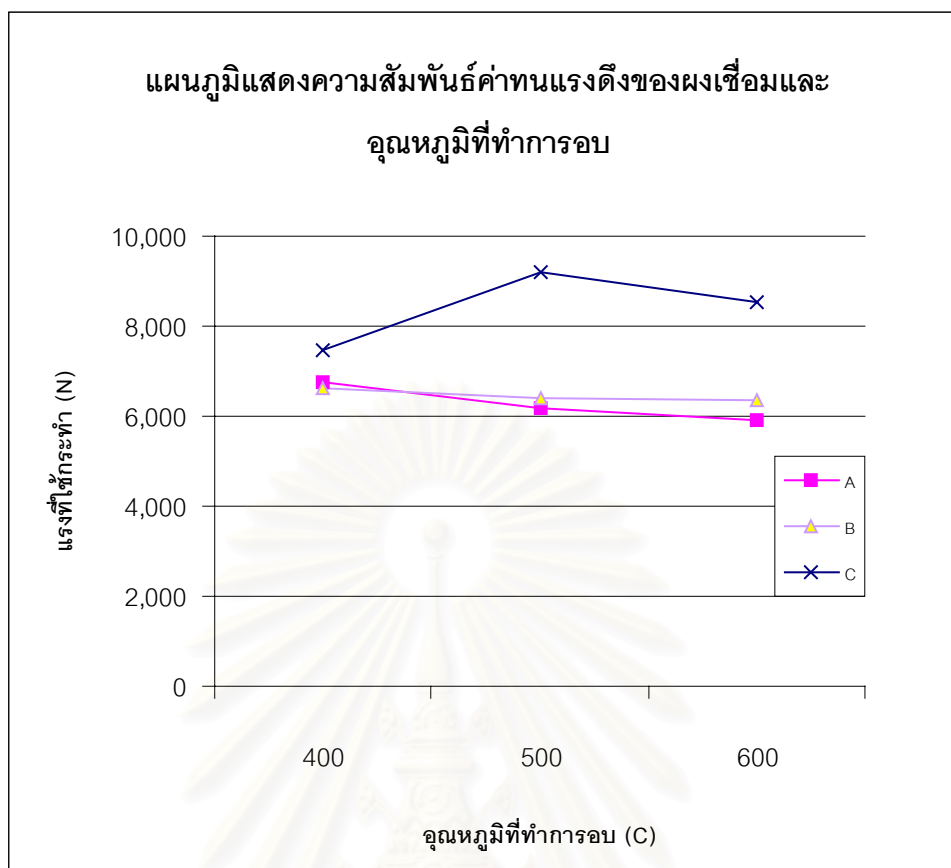
จากผลการทดสอบแรงดึงชิ้นงาน พบว่าค่าทนแรงดึงชิ้นงานเชื่อมที่ดีที่สุด ของแต่ละผงเชื่อมมีดังนี้

- ผงเชื่อม A (Colmonoy No.22) ที่อุณหภูมิ 400 °C Tensile strength ที่ 6,254 N
- ผงเชื่อม B (Colmonoy No.24) ที่อุณหภูมิ 400 °C Tensile strength ที่ 6,612 N
- ผงเชื่อม C (Colmonoy No.225) ที่อุณหภูมิ 500 °C Tensile strength ที่ 9,210 N

ชนิดของผงเชื่อมมีผลต่อค่าทนแรงของชิ้นงาน ส่วนอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานมีผลไม่เด่นชัด ผลการทดลองที่ได้นี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป

Type of powder welding	การทดลองครั้งที่	Load (N)		
		400 °C	500 °C	600 °C
A (Colmonoy No.22)	1	6713	6383	5840
	2	6770	6075	5948
	3	6730	6105	5923
	Average	6,738 ±29	6,188 ±170	5,904 ±57
B (Colmonoy No.24)	1	6545	6345	6210
	2	6750	6337	6270
	3	6787	6524	6372
	Average	6,694 ±130	6,402 ±106	6,284 ±82
C (Colmonoy No.225)	1	7700	9230	8940
	2	7937	9130	8770
	3	7600	9256	8885
	Average	7,746 ±173	9,205 ±67	8,865 ±87

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของค่าแรงดึงที่จุดขาด (Tensile strength) ของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิต่างกัน



รูปที่ 4.10 แสดง แผนภูมิความสัมพันธ์ค่าทนแรงดึงของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ

4.2.1.2 ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (Elongation)

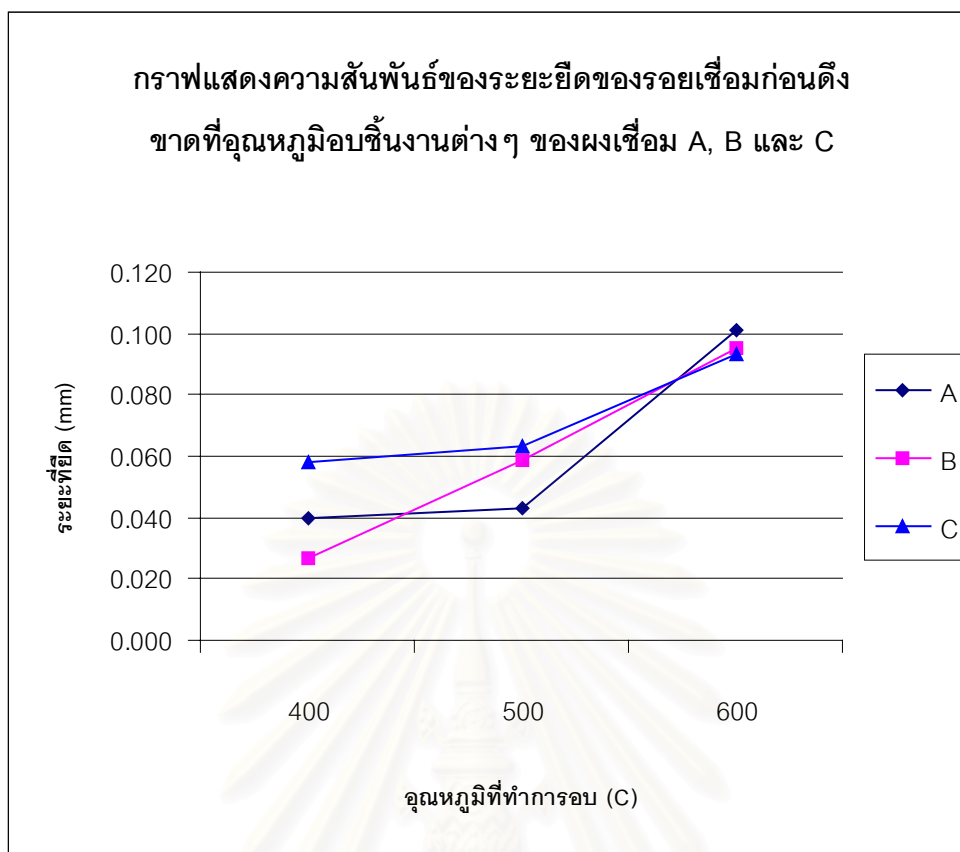
นำชิ้นงานเชื่อมทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ 9 เงื่อนไข โดยทุกเงื่อนไขทำการ Annealing ที่อุณหภูมิที่กำหนดในแต่ละเงื่อนไข โดยทำการอบ 3 ชม. จากนั้นให้เย็นตัวในเตาอบ แล้วนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบ แรงดึงที่เครื่องหาค่าแรงดึง H.T.E, Model: H20K-W จำนวน 27 ชิ้นงาน โดยตั้งค่าสำหรับการทดสอบแรงดึงดังนี้ ตั้งอัตราความเร็วในการดึงที่ 1 mm/min. ตั้งขีดจำกัดของแรงที่ทำการดึง 19,000 N. ตั้งขนาดชิ้นงานไว้ที่ 5/16" และดำเนินการติดตั้ง PS50 กับชิ้นงานทดสอบ เพื่อหาระยะยืด โดยทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ 3.1 โดยกระทำซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลปรากฏแสดงในตารางที่ 4.4 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่า

ผงเชื่อม A, B และ C มีผลต่อค่าระยะยืดของรอยเชื่อม ผงเชื่อม B และ C เมื่ออุณหภูมิอบชิ้นงานเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าระยะยืดของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้น ส่วนผงเชื่อม A ยังผลการทดลองไม่เด่นชัดไม่

สามารถสรุปได้ ผลการทดลองที่ได้นี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป

Type of powder welding	การทดลองครั้งที่	Elongation (mm)		
		400 °C	500 °C	600 °C
A (Colmonoy No.22)	1	0.044	0.031	0.055
	2	0.040	0.026	0.053
	3	0.035	0.024	0.067
	Average	0.040 ±0.005	0.027 ±0.004	0.058 ±0.008
B (Colmonoy No.24)	1	0.040	0.059	0.064
	2	0.046	0.055	0.056
	3	0.044	0.062	0.069
	Average	0.043 ±0.003	0.059 ±0.004	0.063 ±0.007
C (Colmonoy No.225)	1	0.111	0.092	0.097
	2	0.098	0.098	0.093
	3	0.093	0.095	0.089
	Average	0.101 ±0.009	0.095 ±0.003	±0.093 ±0.004

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของค่าระยะยืด (Elongation) ของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิอบต่างกัน



รูปที่ 4.11 แสดง แผนภูมิความสัมพันธ์ค่าระยะยืดของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ

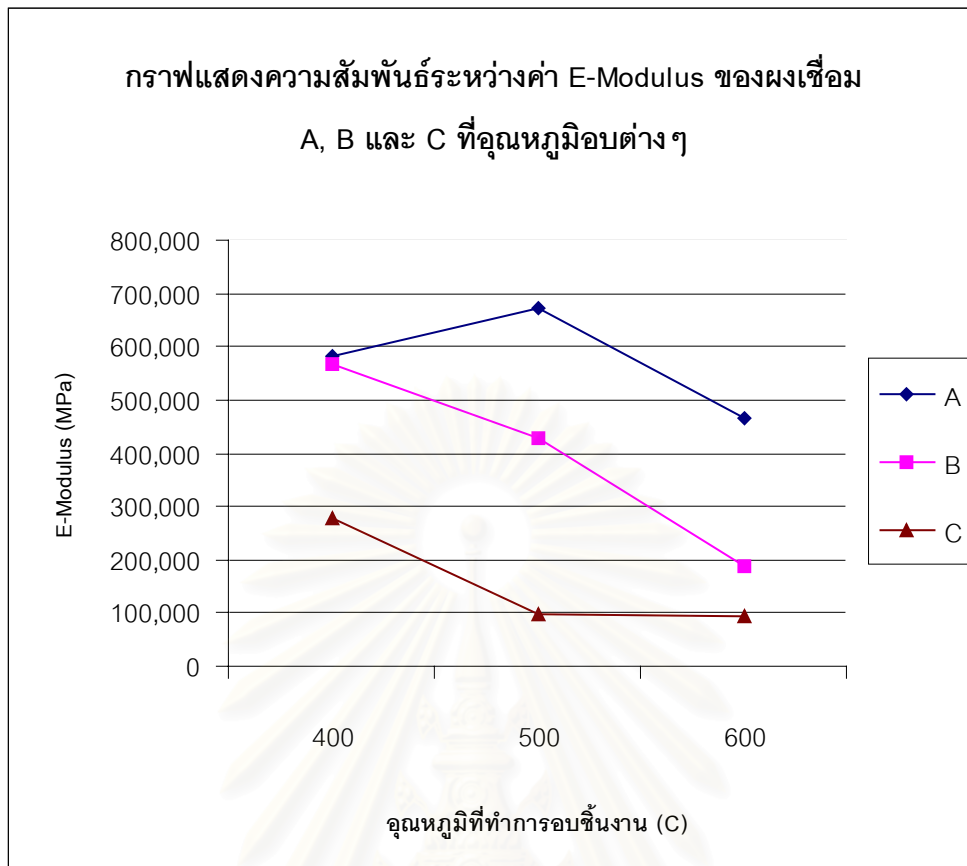
4.2.1.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic Modulus)

นำชิ้นงานเชื่อมทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ 9 เงื่อนไข โดยทุกเงื่อนไขทำการ Annealing ที่อุณหภูมิที่กำหนดในแต่ละเงื่อนไข โดยทำการอบ 3 ชม. จากนั้นให้เย็นตัวในเตาอบ แล้วนำชิ้นงานที่ได้มาทดสอบ แรงดึงที่เครื่องหาค่าแรงดึง H.T.E, Model: H20K-W จำนวน 27 ชิ้นงาน โดยตั้งค่าสำหรับการทดสอบแรงดึงดังนี้ ตั้งอัตราความเร็วในการดึงที่ 1 mm/min. ตั้งขีดจำกัดของแรงที่ทำการดึง 19,000 N. ตั้งขนาดชิ้นงานไว้ที่ 5/16" และดำเนินการติดตั้ง PS50 กับชิ้นงานทดสอบ เพื่อหาระยะยืด โดยทำการทดลองตามแผนการทดลองที่ 3.1 โดยกระทำซ้ำ 3 ครั้ง ได้ผลปรากฏแสดงในตารางที่ 4.5 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.12 แสดงให้เห็นว่า

ผงเชื่อม A, B และ C มีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม และอุณหภูมิอบชิ้นงานที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถสรุปได้ว่ามีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการอบเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นลดลง ผลการทดลองที่ได้นี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป

Type of powder welding	การทดลองครั้งที่	E-Modulus (MPa)		
		400 °C	500 °C	600 °C
A (Colmonoy No.22)	1	610227	679680	486857
	2	558621	657500	448868
	3	574433	674375	458840
	Average	581,094 ±26440	670,518 ±11582	464,855 ±19,696
B (Colmonoy No.24)	1	583625	427542	186250
	2	524545	435218	187472
	3	588913	425225	192348
	Average	565,694 ±35,734	429,328 ±5,231	188,690 ±3,226
C (Colmonoy No.225)	1	269369	105761	92227
	2	280990	93163	94301
	3	281720	97431	99831
	Average	277,360 ±6,930	98,785 ±6,407	95,453 ±3,931

ตารางที่ 4.8 แสดงผลของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E-Modulus) ของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิอบต่างกัน



รูปที่ 4.12 แสดง แผนภูมิความสัมพันธ์ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ

4.2.1.4 ความแข็ง (Hardness)

จากการทดสอบหาค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงาน จำนวน 27 ชิ้น โดยชิ้นงานเตรียมตามแผนการทดลองในตารางที่ 3.1 โดยกระทำซ้ำ 3 ครั้ง โดยทดสอบความแข็งมาทำการวัดค่าความแข็งด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง Rockwell hardness tester: Wilson 500 model B534-T ใช้ Rockwell B scale จะทำการจุดทั้งสิ้น 5 จุดบนชิ้นงาน ค่าที่ได้ปรากฏในตารางที่ 4.6 และกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4.13

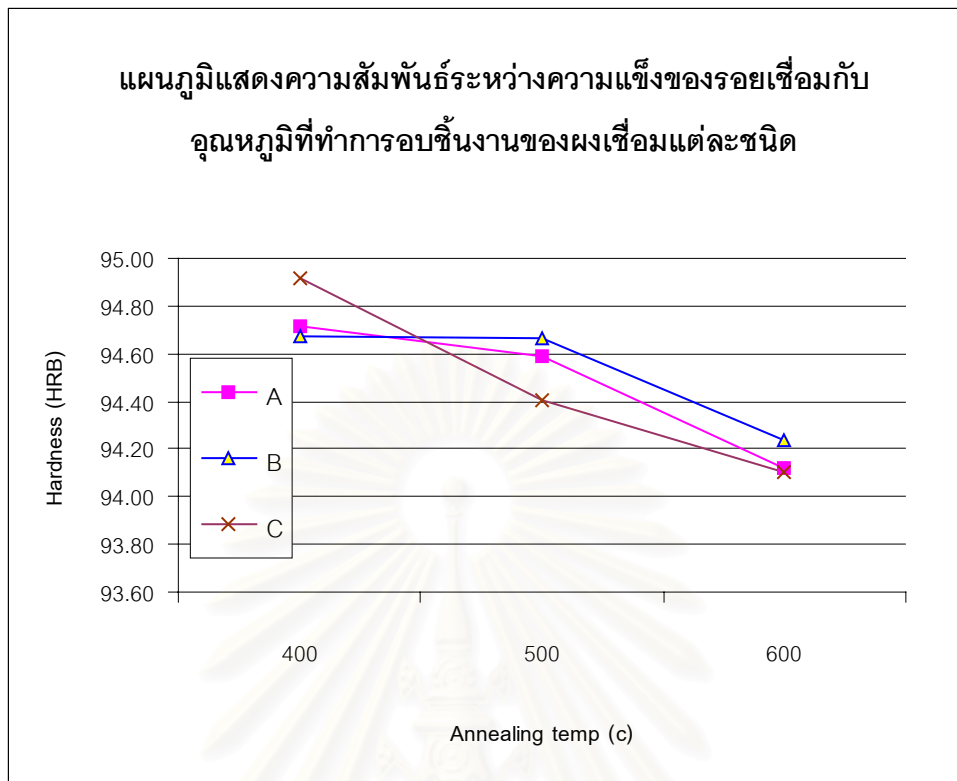
ชนิดของผงเชื่อมโลหะและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ แทบไม่ส่งผลต่อความแข็งบริเวณรอยเชื่อม ซึ่งสังเกตผลที่ได้ค่าแตกต่างกันไม่มาก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการอบชิ้นงาน

(ตามที่เอกสารอ้างอิง ความแข็งของผงเชื่อมต่างกัน ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 ตารางที่ 3.1) และผลการทดลองที่ได้นี้ ไปทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อทดสอบความมีนัยสำคัญในเชิงสถิติต่อไป

Type of powder welding	การทดลองครั้งที่	Hardness (HRB)		
		400 °C	500 °C	600 °C
A (Colmonoy No.22)	1	94.58	94.55	95.21
	2	94.36	94.61	94.98
	3	95.21	94.87	94.56
	Average	94.72 ±0.44	94.68 ±0.17	94.92 ±0.33
B (Colmonoy No.24)	1	94.95	94.90	94.42
	2	94.47	94.75	94.57
	3	94.36	94.34	94.23
	Average	94.59 ±0.31	94.66 ±0.29	94.41 ±0.17
C (Colmonoy No.225)	1	93.94	94.05	94.27
	2	94.12	94.00	94.15
	3	94.31	94.66	93.88
	Average	94.12 ±0.19	94.24 ±0.37	94.10 ±0.20

ตารางที่ 4.9 แสดงผลของค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงานเชื่อม A, B และ C ที่อุณหภูมิอบต่างกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

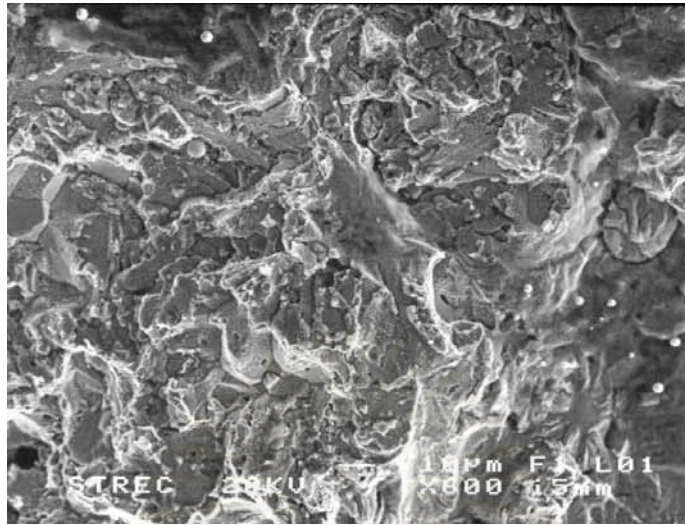


รูปที่ 4.13 แสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ค่าความแข็งของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ

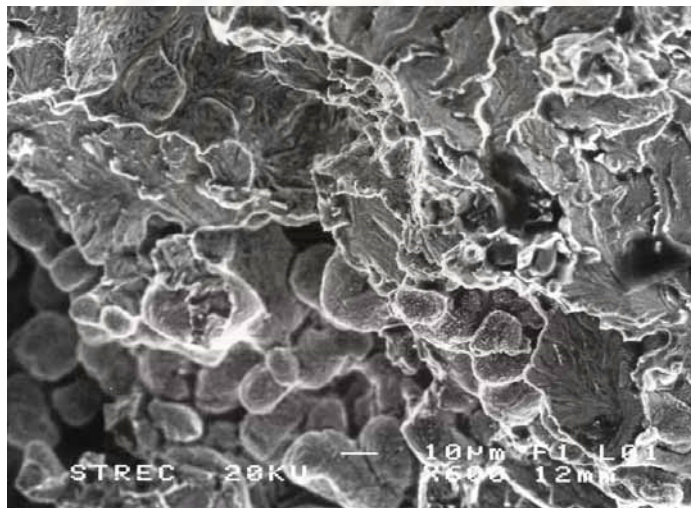
4.2.1.5 ผลการตรวจสอบขนาดของเกรน (Grain size) ของรอยเชื่อมภายหลังการดึง

หลังจากได้ทำการทดสอบหาค่าทนแรงดึงของชิ้นงาน ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง นำชิ้นงานที่ถูกดึงจนขาด ของแต่ละผงเชื่อมโดยพิจารณาที่ค่าทนแรงดึงสูงสุดมาสองคู่ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) ที่กำลังขยาย 600 เท่า จะได้ภาพซึ่งแสดงให้เห็นถึงของขนาดเกรนของแต่ละผงเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 4.14-4.16

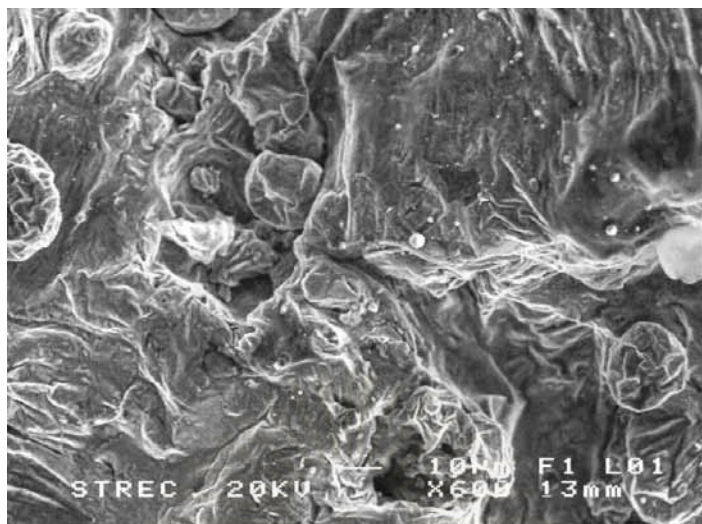
จากภาพโครงสร้างรอยเชื่อม A B และ C ที่กำลังขยายเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าความหยาบพื้นผิวของรอยเชื่อม A ค่อนข้างมากที่สุด รองลงมา ของผงเชื่อม B และ C ตามลำดับ แสดงว่าขนาดเกรน(Grain size) ของผงเชื่อม C ละเอียดกว่าส่งผลให้ค่าทนแรงดึงสูงกว่าด้วย (Tensile strength)



รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะโครงสร้างของรอยเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม A ที่ 400^o C



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะโครงสร้างของรอยเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม B ที่ 400^o C



รูปที่ 4.15 แสดงลักษณะโครงสร้างของรอยเชื่อมหลังการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม C ที่ 500⁰ C

4.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

4.2.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล

เมื่อนำผลการทดลองของคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของรอยเชื่อม นำมาทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ ชื่อ MINITAB ช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ข้อมูลดังนี้

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแรงดึงที่จุดขาด (Tensile strength)

เมื่อนำผลการทดสอบค่าแรงดึงที่จุดขาดในตารางที่ 4.3 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.7 แสดงให้ว่าชนิดของผงเชื่อมโลหะ ส่งผลต่อค่าแรงที่จุดขาดของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานไม่มีผลต่อค่าแรงดึงที่จุดขาด ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างชนิดของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ไม่ส่งผลต่อแรงดึงที่จุดขาดเช่นกัน

และจากกราฟแผนภูมิความสัมพันธ์ค่าทนแรงดึงของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ ในรูปที่ 4.10 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.7 สามารถอธิบายได้ถึงผลกระทบของชนิดของผงเชื่อมโลหะและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานที่มีต่อค่าทนแรงดึงที่จุดขาดของชิ้นงาน ได้ดังนี้ คือ ชนิดของผงเชื่อมโลหะ C มีค่าทนแรงดึงที่จุดขาดสูงกว่า ผงเชื่อมโลหะ B และผงเชื่อมโลหะ A ตามลำดับ

อย่างมีนัยสำคัญ และอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานมากขึ้นส่งผลต่อค่าทนแรงดึงที่จุดขาดที่สามารถลดลงดู จากกราฟความสัมพันธ์

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F ₀	F
Type of welding powder	30,181,288.67	2	15090644	550.3484	4.46
Temp of Annealing	316,037.56	2	158018.8	5.762867	4.46
Interaction	4,529,323.11	4	1132331	41.29555	3.84
Error	219,361.33	8	27420.17		
Total	35,246,010.67	11			

ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแรงดึงที่จุดขาด

2. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความยืดหยุ่น (Elongation)

เมื่อนำผลการทดสอบค่าความยืดหยุ่นที่จุดขาดในตารางที่ 4.4 โดยแปลงข้อมูลจากเปอร์เซ็นต์มาเป็นเลขปกติแล้วนำมา วิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.8 แสดงให้ว่าชนิดของผงเชื่อมโลหะ ไม่ส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่นที่จุดขาดของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานไม่มีผลต่อค่าแรงดึงที่จุดขาด ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างชนิดของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ไม่ส่งผลต่อแรงดึงที่จุดขาดเช่นกัน

และจากกราฟแผนภูมิความสัมพันธ์ค่าความยืดหยุ่นของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ ในรูปที่ 4.11 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.8 สามารถอธิบายได้ถึงผลกระทบของชนิดของผงเชื่อมโลหะและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานที่มีต่อค่าทนแรงดึงที่จุดขาดของชิ้นงาน ได้ดังนี้ คือ ชนิดของผงเชื่อมโลหะและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่นรอยเชื่อมของชิ้นงานโดยตรง จากกราฟความสัมพันธ์ พบว่า ผงเชื่อมโลหะ C มีค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมมากกว่า ผงเชื่อมโลหะ A และผงเชื่อมโลหะ B ตามลำดับในตอนต้น และเมื่ออุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานมากขึ้นสูงขึ้นส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้นตาม สามารถดูจากกราฟความสัมพันธ์เช่นเดียวกัน

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F ₀	F
Type of welding powder	0.015	2	0.00728	109.2006	4.46
Temp of Annealing	0.001	2	0.000347	5.207222	4.46
Interaction	0.002	4	0.000383	5.744722	3.84
Error	0.001	8	6.67E-05		
Total	0.017	11			

ตารางที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลโมดูลัสความยืดหยุ่น (E – Modulus)

เมื่อนำผลการทดสอบค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงานเชื่อมในตารางที่ 4.5 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.9 แสดงให้ว่าชนิดของผงเชื่อมโลหะ ไม่ส่งผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นที่จุดขาดของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และคุณสมบัติที่ทำการอบชิ้นงานไม่มีผลต่อค่าแรงดึงที่จุดขาด ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างชนิดของผงเชื่อมและคุณสมบัติที่ทำการอบชิ้นงาน ไม่ส่งผลต่อแรงดึงที่จุดขาดเช่นกัน

และจากกราฟแผนภูมิความสัมพันธ์ค่าความยืดหยุ่นของผงเชื่อมและคุณสมบัติที่ทำการอบ ในรูปที่ 4.12 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.9 สามารถอธิบายได้ถึงผลกระทบของชนิดของผงเชื่อมโลหะและคุณสมบัติที่ทำการอบชิ้นงานที่มีต่อค่าทนแรงดึงที่จุดขาดของชิ้นงาน ได้ดังนี้ คือ ชนิดของผงเชื่อมโลหะและคุณสมบัติที่ทำการอบชิ้นงานส่งผลต่อค่าความยืดหยุ่นรอยเชื่อมของชิ้นงานโดยตรง จากกราฟความสัมพันธ์ พบว่า ผงเชื่อมโลหะแต่ละชนิดในตอนแรกนั้นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นต่างกันโดยที่ ผงเชื่อมชนิด A > B > C และคุณสมบัติที่ทำการอบชิ้นงานมากขึ้นผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงานเชื่อมลดลงที่สามารถดูจากกราฟความสัมพันธ์เช่นเดียวกัน

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F ₀	F
Type of welding powder	780,211,536,661.41	2	3.9E+11	590.9863	4.46
Temp of Annealing	236,284,990,952.07	2	1.18E+11	178.9786	4.46
Interaction	111,145,424,317.04	4	2.78E+10	42.09463	3.84
Error	5,280,741,689.33	8	6.6E+08		
Total	1,132,922,693,619.85	11			

ตารางที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

4. การวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็ง (Hardness)

เมื่อนำผลการทดสอบค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมในตารางที่ 4.6 มาวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.10 แสดงให้ว่าชนิดของผงเชื่อมโลหะ ส่งผลต่อค่าความแข็งของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ในขณะที่คุณสมบัตินี้ทำการอบชิ้นงานไม่มีผลต่อค่าแรงดึงที่จุดขาด ส่วนปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่างชนิดของผงเชื่อมและคุณสมบัตินี้ทำการอบชิ้นงาน ไม่ส่งผลต่อความแข็งบริเวณรอยเชื่อมเช่นกัน

และจากกราฟแผนภูมิความสัมพันธ์ค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมของผงเชื่อมและคุณสมบัตินี้ทำการอบ ในรูปที่ 4.13 และผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.10 สามารถอธิบายได้ถึงผลกระทบของชนิดของผงเชื่อมโลหะและคุณสมบัตินี้ทำการอบชิ้นงานที่มีต่อค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงาน ได้ดังนี้ คือ ชนิดของผงเชื่อมโลหะมีผลต่อความแข็งอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับคุณสมบัตินี้ทำการอบชิ้นงานมากขึ้นไม่ส่งผลต่อค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่สามารถดูจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนได้

Source of Variation	Sum of Squares	Degree of Freedom	Mean Square	F ₀	F
Type of welding powder	1.76	2	0.881448	4.683157	4.46
Temp of Annealing	0.01	2	0.007359	0.0391	4.46
Interaction	0.22	4	0.055543	0.295099	3.84
Error	1.51	8	0.188217		
Total	3.51	11			

ตารางที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลค่าความแข็งบริเวณรอยเชื่อม

4.2.2.2 การวิเคราะห์การถดถอย (Regression Analysis) ของข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล

เมื่อนำข้อมูลคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของรอยเชื่อมที่วัดได้มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล โดยใช้โปรแกรม MINITAB ซึ่งเป็นโปรแกรมทางสถิติสำเร็จมาช่วยในการวิเคราะห์ และใช้วิธี Stepwise เป็นวิธีการเลือกตัวแปรนำเข้าจะได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์การถดถอยของค่าแรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength) และการตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

1.1 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าแรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength)

เมื่อนำข้อมูลค่าทนแรงดึงที่จุดขาดที่วัดได้ในตารางที่ 4.3 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.16

จากรูปที่ 4.16 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงที่จุดขาด ระหว่างชนิดของผงเชื่อมกับอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$Y_x = 6230 - 5284\text{Type} + 18\text{Temp} + 1009\text{Type}^2 + 5\text{Temp*Type} \dots \dots \dots (4.1)$$

เมื่อ Y_x = ค่าเฉลี่ยทนแรงดึงที่จุดขาดสำหรับผงเชื่อมโลหะ X (นิวตัน)

Temp = อุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส

Type = ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3

สมการถดถอยสมการที่ (4.1) จะสามารถทำนายค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 94.6% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Response Surface Regression: Tensile versus Type, Temp

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	7526	3151.37	2.388	0.026
Type	-5200	657.13	-7.914	0.000
Temp	13	12.38	1.025	0.317
Type*Type	981	122.38	8.015	0.000
Temp*Temp	-0	0.01	-1.852	0.078
Type*Temp	5	0.87	5.643	0.000

S = 299.8 R-Sq = 94.6% R-Sq(adj) = 93.4%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	33358960	33358960	6671792	74.25	0.000
Linear	2	24416855	5906622	2953311	32.87	0.000
Square	2	6080471	6080471	3040235	33.83	0.000
Interaction	1	2861633	2861633	2861633	31.85	0.000
Residual Error	21	1887051	1887051	89860		
Lack-of-Fit	3	1667690	1667690	555897	45.61	0.000
Pure Error	18	219361	219361	12187		
Total	26	35246011				

รูปที่ 4.16 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาด

1.2 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

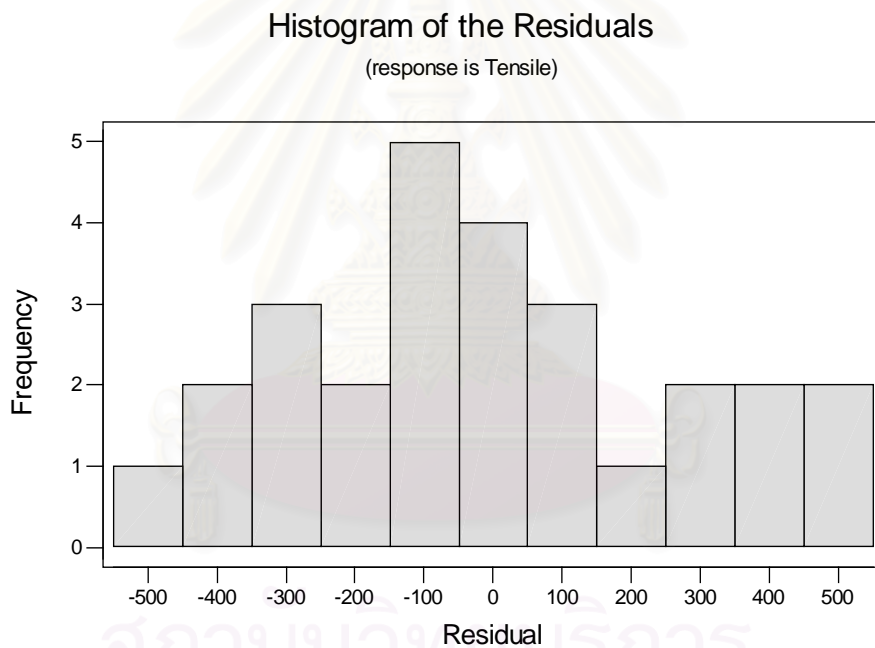
จากรูปที่ 4.17 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในรูปแบบ Histogram พบว่าเป็นรูปแบบระฆังคว่ำสามารถกล่าวได้ว่ามีการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบ Normal Distribution

จากรูปที่ 4.18 แสดงการข้อมูลแบบ Normal Probability plot ไม่พบสิ่งผิดปกติบนกราฟ (Outlier) และไม่ส่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนบิดเบือนไป

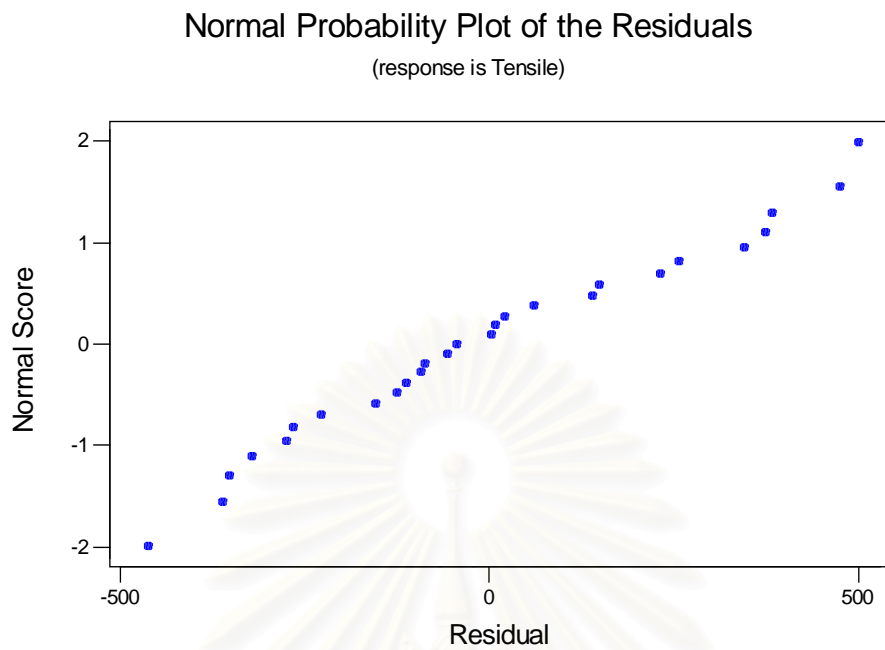
จากรูปที่ 4.19 แสดงส่วนตกค้างของข้อมูลตามเวลาที่เก็บข้อมูล เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัว ซึ่งข้อมูลไม่กระจายตัวไปข้างใดข้างหนึ่งมากเกินไป ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลดังกล่าวไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัวแต่ประการใด

จากรูปที่ 4.20 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต พบว่าการกระจายของข้อมูลจะไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ อันก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่าที่ทำนายได้

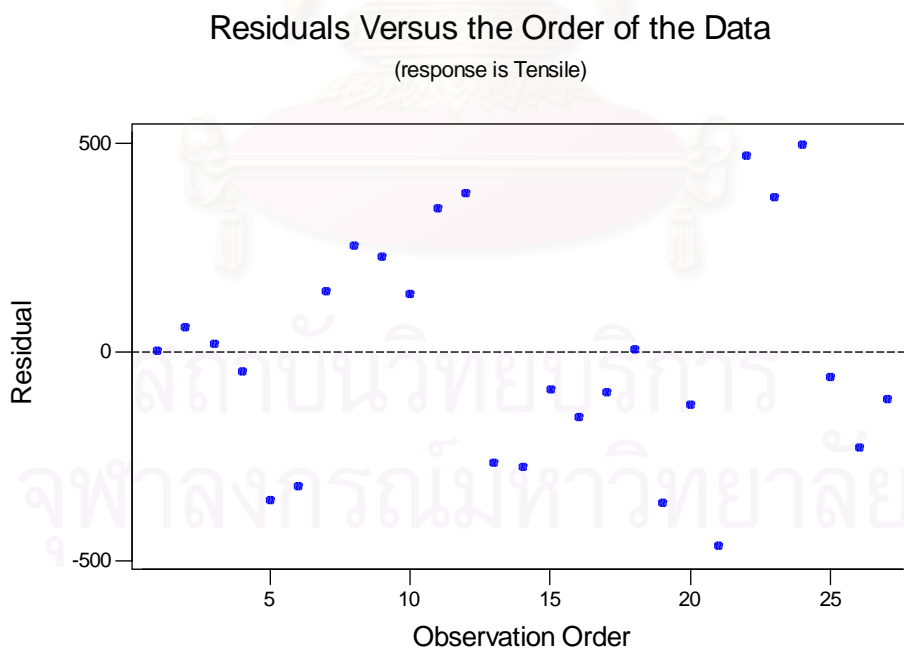
จากรูปที่ 4.21 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับปัจจัยของชนิดของผงเชื่อม และ รูปที่ 4.22 แสดงกราฟของส่วนตกค้างกับปัจจัยอุณหภูมิที่ทำการอบ พบว่าระยะความสูงของแต่ละปัจจัยใกล้เคียงกันไม่เป็นทรงกรวย แต่เป็นทรงกระบอก ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความแปรปรวนไม่คงตัว ซึ่งทำให้เกิดการแจกแจงที่บิดเบี้ยว



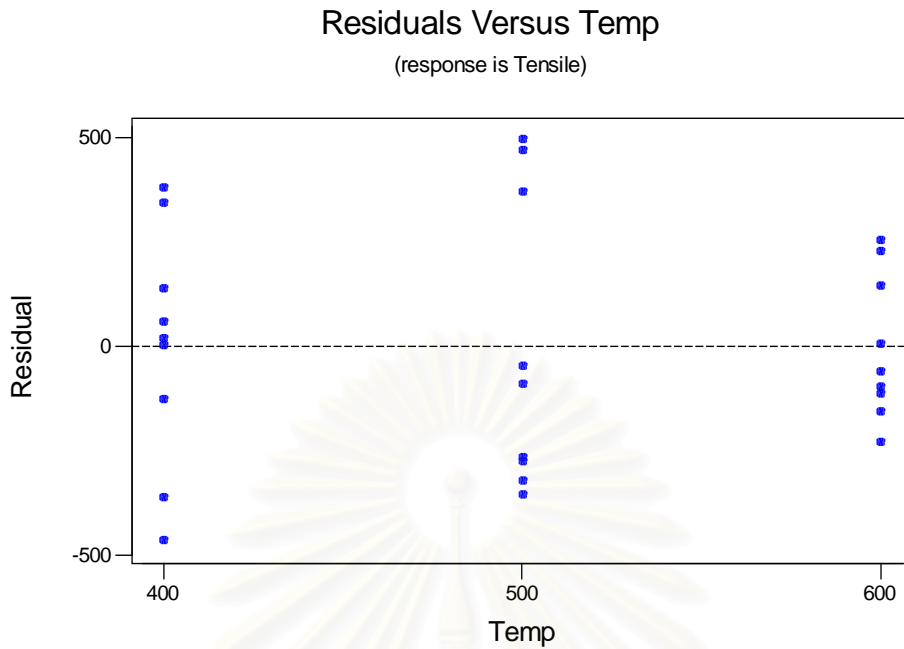
รูปที่ 4.17 แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองค่าแรงดึงที่จุดขาด



รูปที่ 4.18 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าแรงดึงที่จุดขาดของ
ชนิดผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ



รูปที่ 4.19 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาที่ได้รับข้อมูล



รูปที่ 4.22 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน

2. การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความยืดหยุ่น (Elongation) และการตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

2.1 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความยืดหยุ่น (Elongation)

เมื่อนำข้อมูลค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมที่วัดได้ในตารางที่ 4.4 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.23

จากรูปที่ 4.23 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมระหว่างชนิดของผงเชื่อมกับอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$Y_x = 0.113537 + 0.004417\text{Type} - 0.000428\text{Temp} + 0.013944\text{Type}^2 + 0.000001\text{Temp}^2 - 0.000066\text{Type*Temp} \dots \dots \dots (4.2)$$

เมื่อ Y_x = ค่าเฉลี่ยความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม X (mm)

Temp = อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส

Type = ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3

สมการถดถอยสมการที่ (4.2) จะสามารถทำนายค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 91.1% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Response Surface Regression: Elogate versus Type, Temp

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Elogate

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	0.113537	0.090177	1.259	0.222
Type	0.004417	0.018804	0.235	0.817
Temp	-0.000428	0.000354	-1.209	0.240
Type*Type	0.013944	0.003502	3.982	0.001
Temp*Temp	0.000001	0.000000	1.745	0.096
Type*Temp	-0.000066	0.000025	-2.659	0.015

S = 0.008578 R-Sq = 91.1% R-Sq(adj) = 89.0%

Analysis of Variance for Elogate

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	0.015774	0.015774	0.003155	42.88	0.000
Linear	2	0.013864	0.000116	0.000058	0.79	0.466
Square	2	0.001391	0.001391	0.000695	9.45	0.001
Interaction	1	0.000520	0.000520	0.000520	7.07	0.015
Residual Error	21	0.001545	0.001545	0.000074		
Lack-of-Fit	3	0.001012	0.001012	0.000337	11.38	0.000
Pure Error	18	0.000533	0.000533	0.000030		
Total	26	0.017320				

รูปที่ 4.23 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

2.2 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

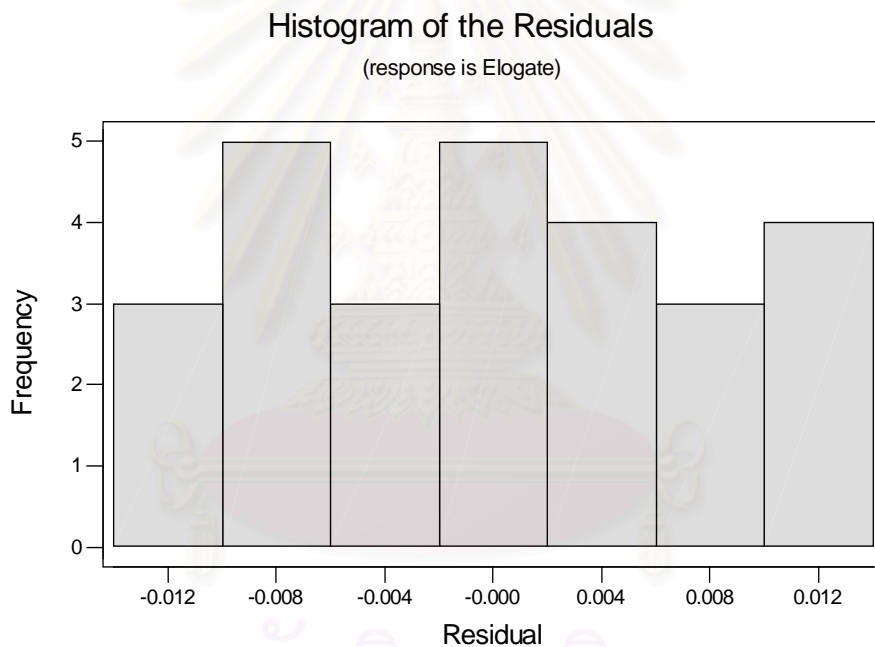
จากรูปที่ 4.24 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในรูปแบบ Histogram พบว่าเป็นรูปแบบคล้ายๆ สี่เหลี่ยมไม่เป็นระฆังคว่ำเนื่องจาก Scale ค่อนข้างหยาบไป ยังไม่สามารถสรุปว่าการกระจายนี้เป็นแบบการแจกแจงแบบปกติ จึงต้องพิจารณาข้อมูลในกราฟต่อไป

จากรูปที่ 4.25 แสดงการข้อมูลแบบ Normal Probability plot ไม่พบสิ่งผิดปกติบนกราฟ (Outlier) และไม่ส่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนบิดเบือนไป

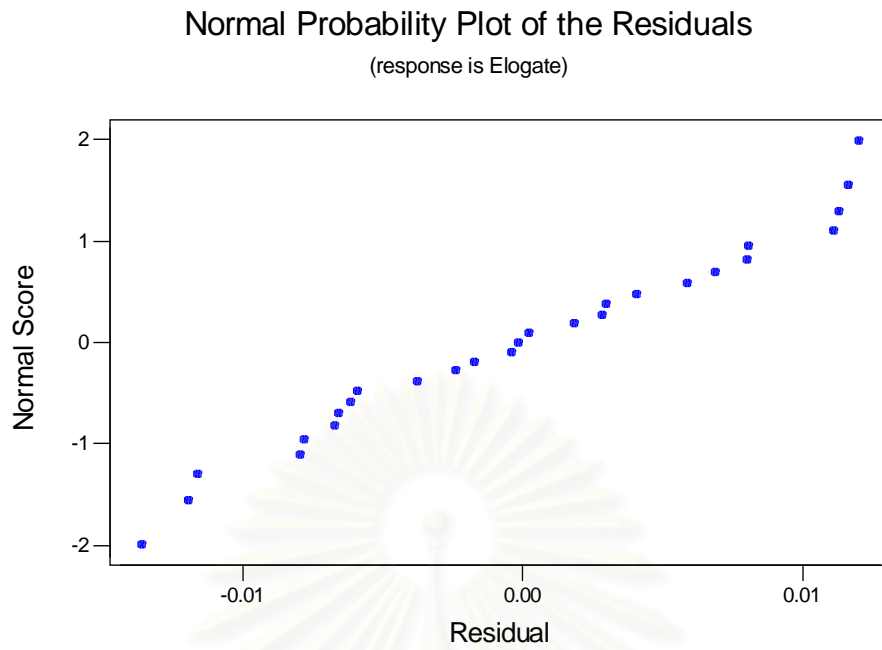
จากรูปที่ 4.26 แสดงส่วนตกค้างของข้อมูลตามเวลาที่เก็บข้อมูล เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัว ซึ่งข้อมูลไม่กระจายตัวไปข้างใดข้างหนึ่งมากเกินไป ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลดังกล่าวไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัวแต่ประการใด

จากรูปที่ 4.27 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต พบว่าการกระจายของข้อมูลจะไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ อันก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่าที่ทำนายได้

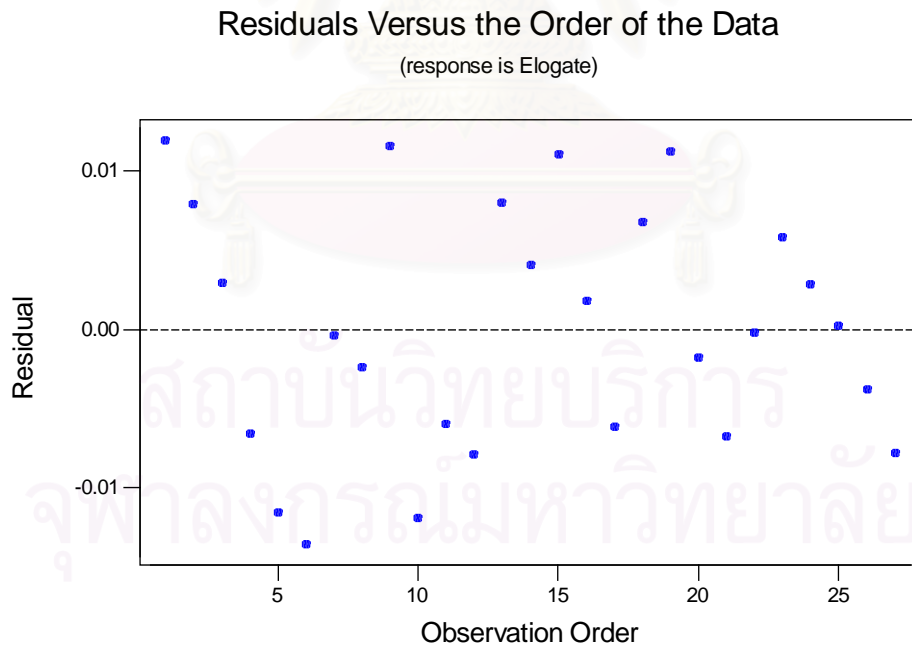
จากรูปที่ 4.28 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับปัจจัยของชนิดของผงเชื่อม และ รูปที่ 4.29 แสดงกราฟของส่วนตกค้างกับปัจจัยอุณหภูมิที่ทำการอบ พบว่าระยะความสูงของแต่ละปัจจัยใกล้เคียงกันไม่เป็นทรงกรวย แต่เป็นทรงกระบอก ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความแปรปรวนไม่คงตัว ซึ่งทำให้เกิดการแจกแจงที่บิดเบี้ยว



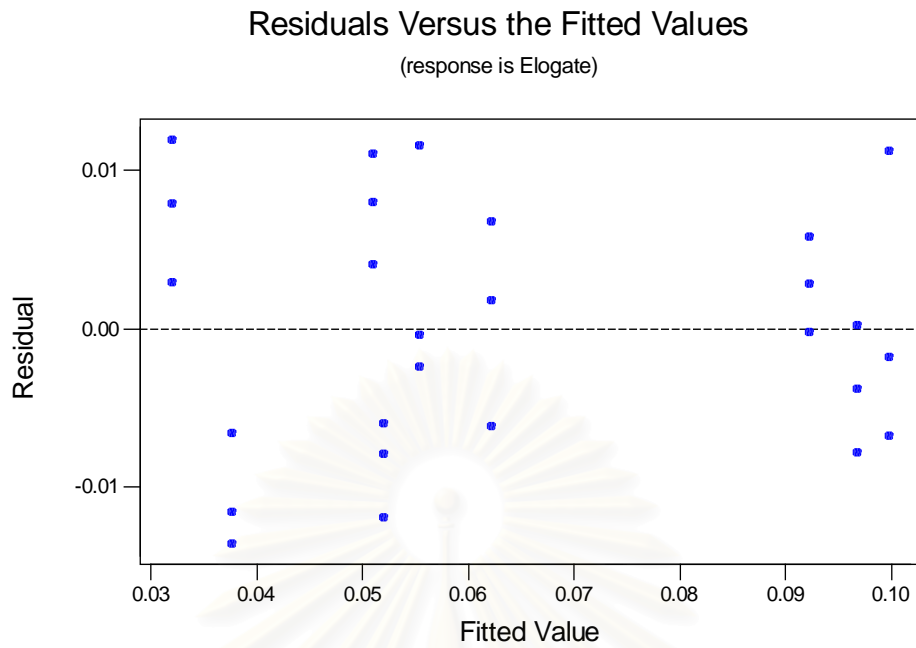
รูปที่ 4.24 แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองต่อค่าความยืดหยุ่น



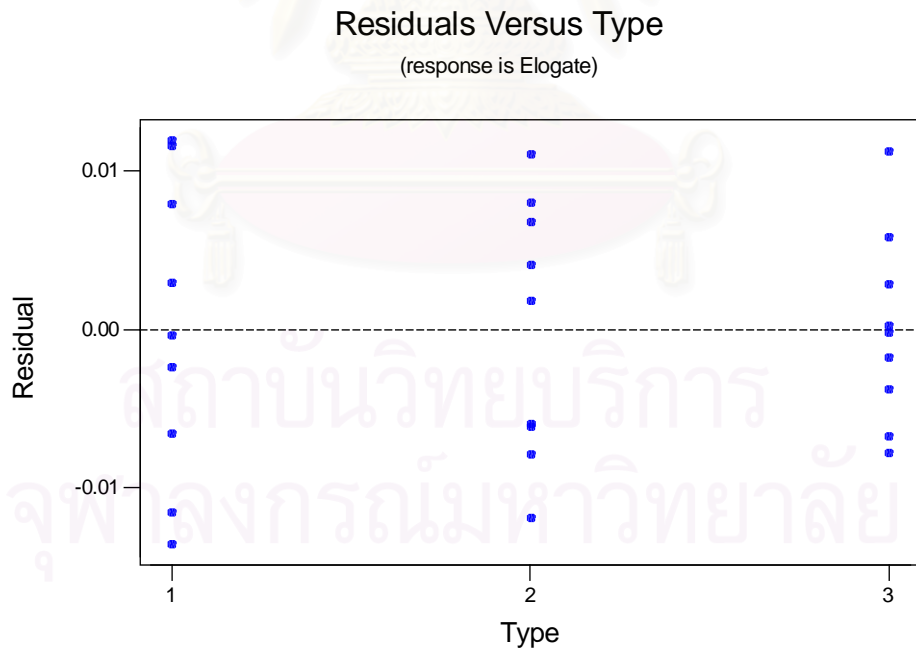
รูปที่ 4.25 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าความยืดหยุ่นของชนิด ผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ



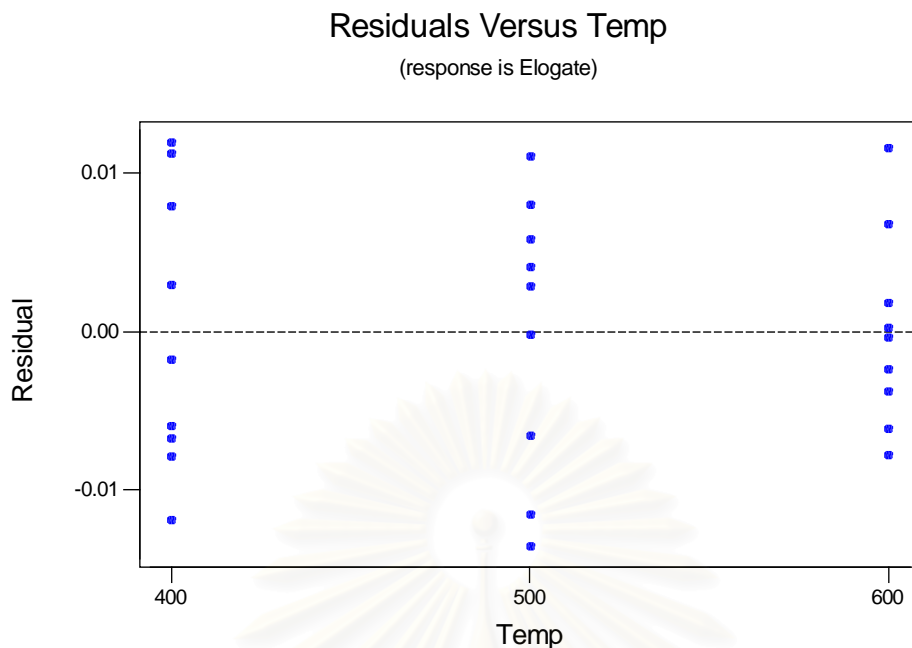
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาที่ได้รับข้อมูล



รูปที่ 4.27 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าความยืดหยุ่นของชิ้นงาน



รูปที่ 4.28 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะ



รูปที่ 4.29 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน

3. การวิเคราะห์การถดถอยของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E-Elongation) และการตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

3.1 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (E-Elongation)

เมื่อนำข้อมูลค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมที่วัดได้ในตารางที่ 4.5 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.30

จากรูปที่ 4.30 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่ายืดหยุ่นของรอยเชื่อมระหว่างชนิดของผงเชื่อมกับอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$Y_x = 179487 - 5819\text{Type} + 2938\text{Temp} - 29893\text{Type}^2 - 4\text{Temp}^2 - 164\text{Type}*\text{Temp}.....(4.3)$$

- เมื่อ
- | | | |
|-------|---|---|
| Y_x | = | ค่าเฉลี่ยโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม X (MPa) |
| Temp | = | อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส |
| Type | = | ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3 |

สมการถดถอยสมการที่ (4.3) จะสามารถทำนายค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 90% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Response Surface Regression: E-Modulus versus Type, Temp

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for E-Modulu

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	179487	771819	0.233	0.818
Type	-5819	160942	-0.036	0.971
Temp	2938	3032	0.969	0.344
Type*Type	-29893	29972	-0.997	0.330
Temp*Temp	-4	3	-1.246	0.226
Type*Temp	-164	212	-0.775	0.447

S = 73417 R-Sq = 90.0% R-Sq(adj) = 87.6%

Analysis of Variance for E-Modulu

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1.0197E+12	1.01973E+12	2.03946E+11	37.84	0.000
Linear	2	1.0028E+12	5147777954	2573888977	0.48	0.627
Square	2	1.3733E+10	13733162877	6866581438	1.27	0.300
Interaction	1	3234214668	3234214668	3234214668	0.60	0.447
Residual Error	21	1.1319E+11	1.13192E+11	5390092921		
Lack-of-Fit	3	1.0791E+11	1.07911E+11	35970403216	122.61	0.000
Pure Error	18	5280741689	5280741689	293374538		
Total	26	1.1329E+12				

รูปที่ 4.30 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

3.2 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

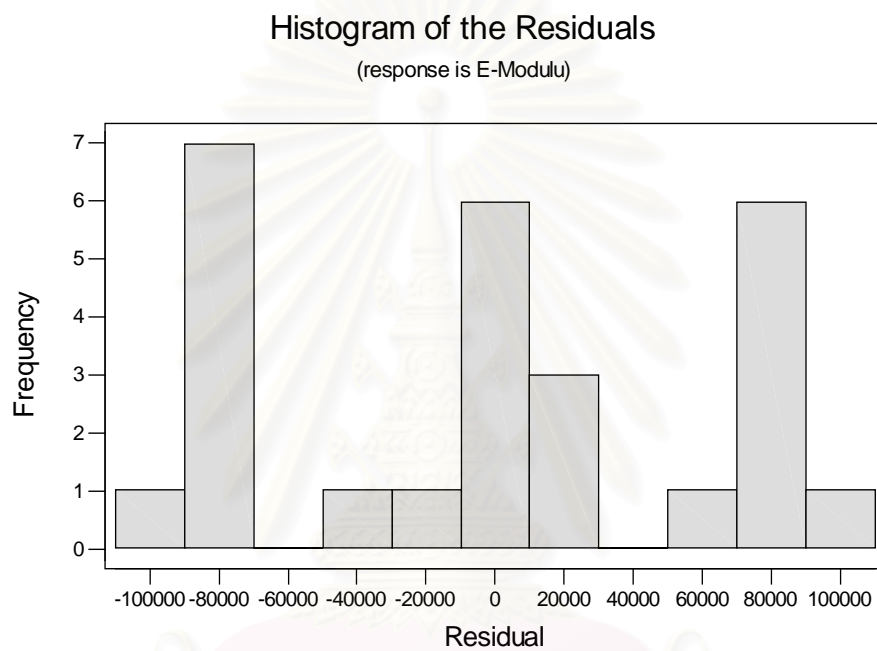
จากรูปที่ 4.31 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในรูปแบบ Histogram พบว่าเป็นรูปแบบไม่เป็นระฆังคว่ำ แต่ยังไม่สามารถสรุปว่าการกระจายนี้เป็นแบบการแจกแจงแบบปกติ จึงต้องพิจารณาข้อมูลในกราฟต่อไป

จากรูปที่ 4.32 แสดงการข้อมูลแบบ Normal Probability plot ไม่พบสิ่งผิดปกติบนกราฟ (Outlier) และไม่ส่งผลวิเคราะห์ความแปรปรวนบิดเบือนไป

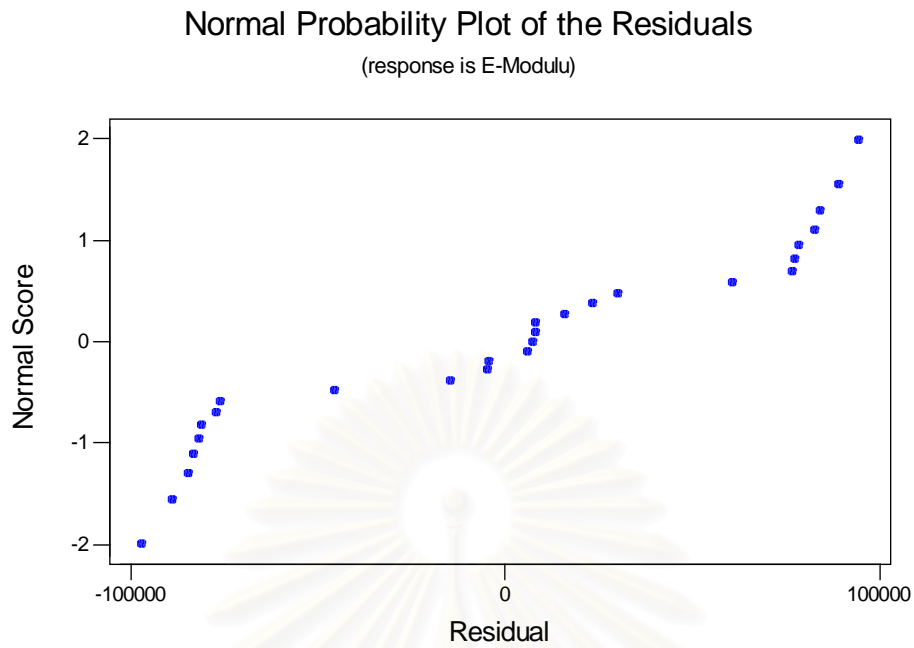
จากรูปที่ 4.33 แสดงส่วนตกค้างของข้อมูลตามเวลาที่เก็บข้อมูล เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัว ซึ่งข้อมูลไม่กระจายตัวไปข้างใดข้างหนึ่งมากเกินไป ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลดังกล่าวจะไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัวแต่ประการใด

จากรูปที่ 4.34 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกฟิต พบว่าการกระจายของข้อมูล จะไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ อันก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่าที่ทำนายได้

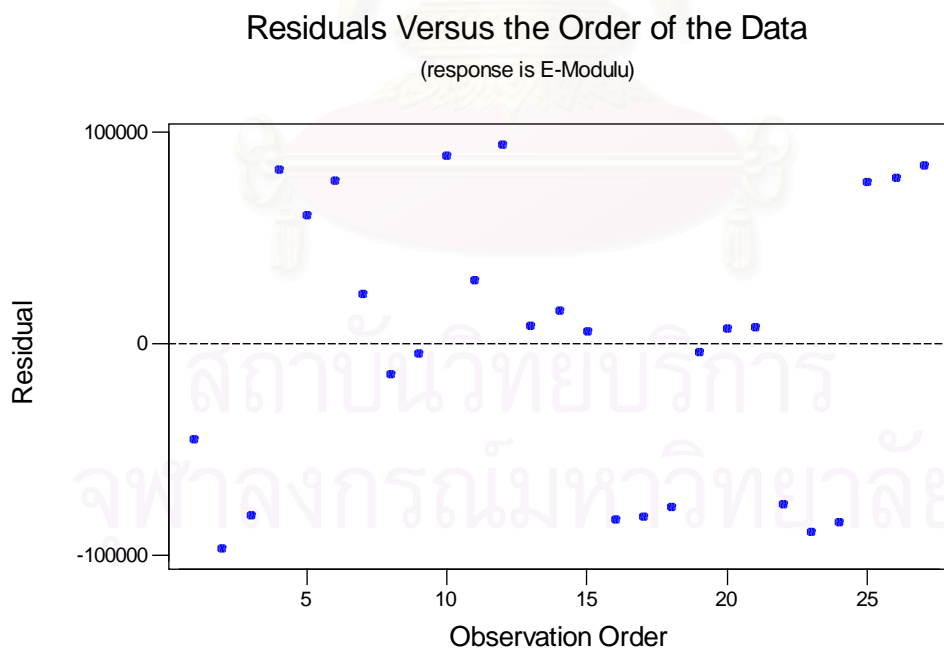
จากรูปที่ 4.35 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับปัจจัยของชนิดของผงเชื่อม และ รูปที่ 4.36 แสดงกราฟของส่วนตกค้างกับปัจจัยอุณหภูมิที่ทำการอบ พบว่าระยะความสูงของแต่ละปัจจัยใกล้เคียง กันไม่เป็นทรงกรวย แต่เป็นทรงกระบอก ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความแปรปรวนไม่คงตัว ซึ่งทำให้เกิดการแจกแจงที่ บิดเบี้ยว



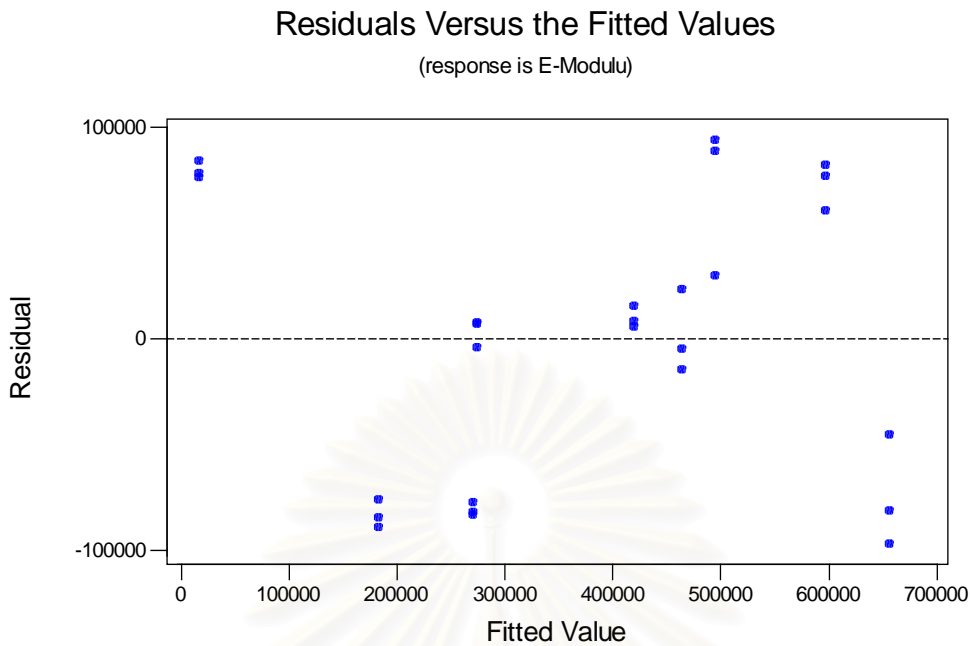
รูปที่ 4.31 แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น



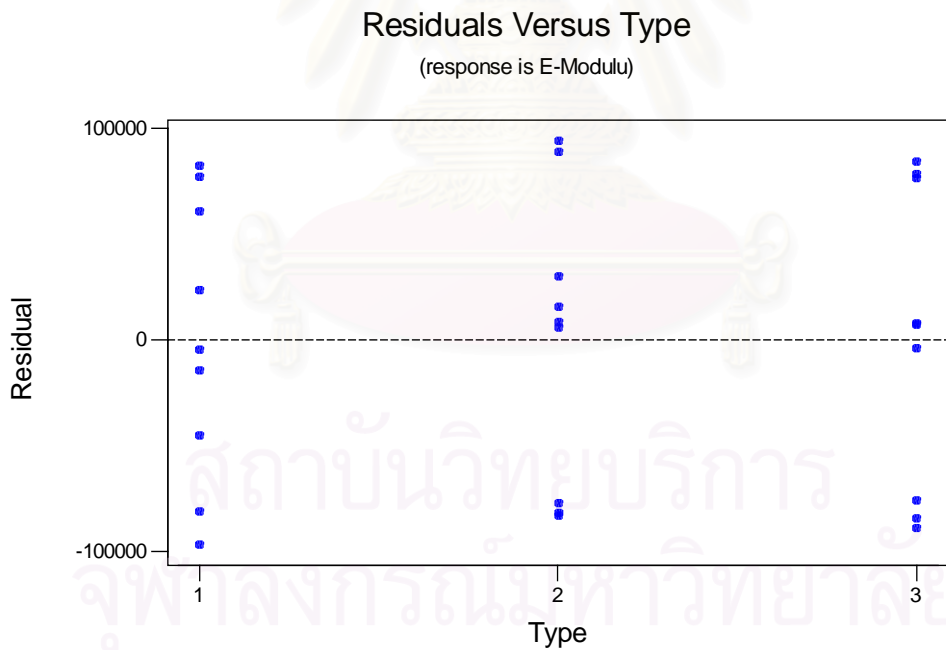
รูปที่ 4.32 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของ
ชนิดผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ



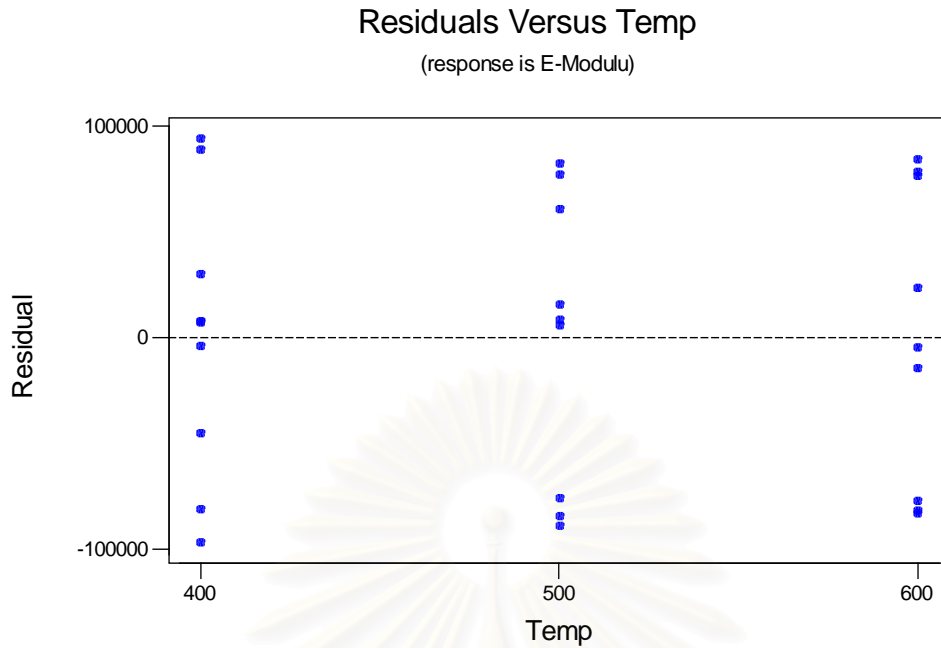
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาที่ได้รับข้อมูล



รูปที่ 4.34 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน



รูปที่ 4.36 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะ



รูปที่ 4.37 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน

4. การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความแข็ง(Hardness) และการตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

4.1 การวิเคราะห์การถดถอยของค่าความแข็ง (Hardness)

เมื่อนำข้อมูลค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่วัดได้ในตารางที่ 4.6 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล จะได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.38

จากรูปที่ 4.38 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งของรอยเชื่อมระหว่างชนิดของผงเชื่อมกับอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$Y_x = 93.0469 + 0.3419 \text{ Type} + 0.0060 \text{Temp} - 0.0926 \text{Type}^2 - 0.0006 \text{Type} * \text{Temp} \dots (4.4)$$

- เมื่อ
- | | | |
|---------------|---|---|
| Y_x | = | ค่าเฉลี่ยค่าความแข็งของรอยเชื่อม X (HRB) |
| Temp | = | อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส |
| Type | = | ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3 |

Response Surface Regression: Hardness versus Type, Temp

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Hardness

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	93.0469	2.98274	31.195	0.000
Type	0.3419	0.62197	0.550	0.588
Temp	0.0060	0.01172	0.516	0.611
Type*Type	-0.0928	0.11583	-0.801	0.432
Temp*Temp	-0.0000	0.00001	-0.427	0.674
Type*Temp	-0.0006	0.00082	-0.682	0.503

S = 0.2837 R-Sq = 51.8% R-Sq(adj) = 40.3%

Analysis of Variance for Hardness

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	1.81502	1.81502	0.36300	4.51	0.006
Linear	2	1.71130	0.04190	0.02095	0.26	0.773
Square	2	0.06631	0.06631	0.03316	0.41	0.668
Interaction	1	0.03741	0.03741	0.03741	0.46	0.503
Residual Error	21	1.69050	1.69050	0.08050		
Lack-of-Fit	3	0.18476	0.18476	0.06159	0.74	0.544
Pure Error	18	1.50573	1.50573	0.08365		
Total	26	3.50552				

Unusual Observations for Hardness

Observation	Hardness	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
3	95.210	94.699	0.147	0.511	2.10R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่ 4.38 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าความแข็งของรอยเชื่อม

สมการถดถอยสมการที่ (4.4) จะสามารถทำนายค่าความความแข็งของรอยเชื่อมด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 51.8% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่ง R^2 มีค่าต่ำเกินไปไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ของข้อมูลในรูปสมการ (4.4) ซึ่งปกติควรมากกว่า 80% ขึ้นไป

4.2 การตรวจความถูกต้องของแบบจำลอง

จากรูปที่ 4.39 แสดงรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลในรูปแบบ Histogram พบว่าเป็นรูปแบบเป็นระฆังคว่ำเบ้ซ้าย

จากรูปที่ 4.40 แสดงการข้อมูลแบบ Normal Probability plot ไม่พบสิ่งผิดปกติบนกราฟ (Outlier) และไม่ส่งผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนบิดเบือนไป

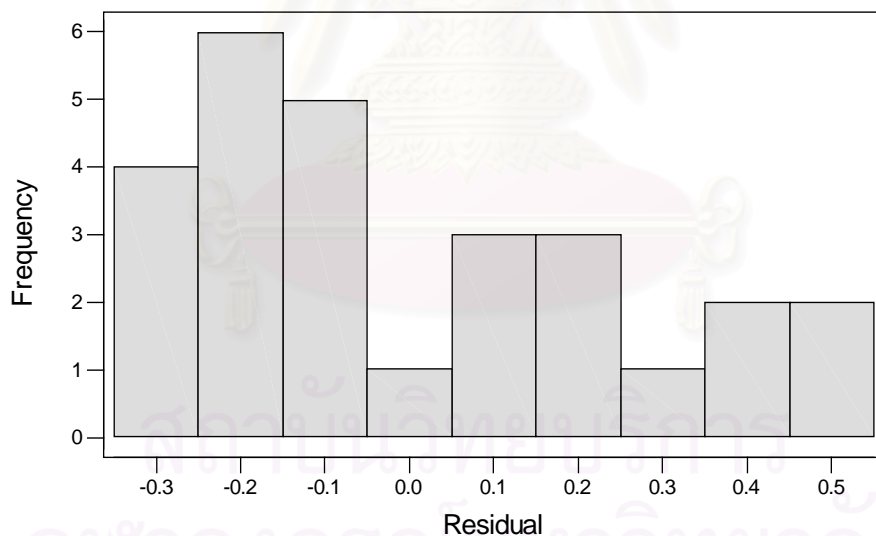
จากรูปที่ 4.41 แสดงส่วนตกค้างของข้อมูลตามเวลาที่เก็บข้อมูล เพื่อตรวจสอบความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัว ซึ่งข้อมูลไม่กระจายตัวไปข้างใดข้างหนึ่งมากเกินไป ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลดังกล่าวไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นอิสระหรือความแปรปรวนคงตัวแต่ประการใด

จากรูปที่ 4.42 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับค่าที่ถูกลบ พบว่าการกระจายของข้อมูลจะไม่มีรูปแบบหรือโครงสร้างใดๆ อันก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่าที่ทำนายได้

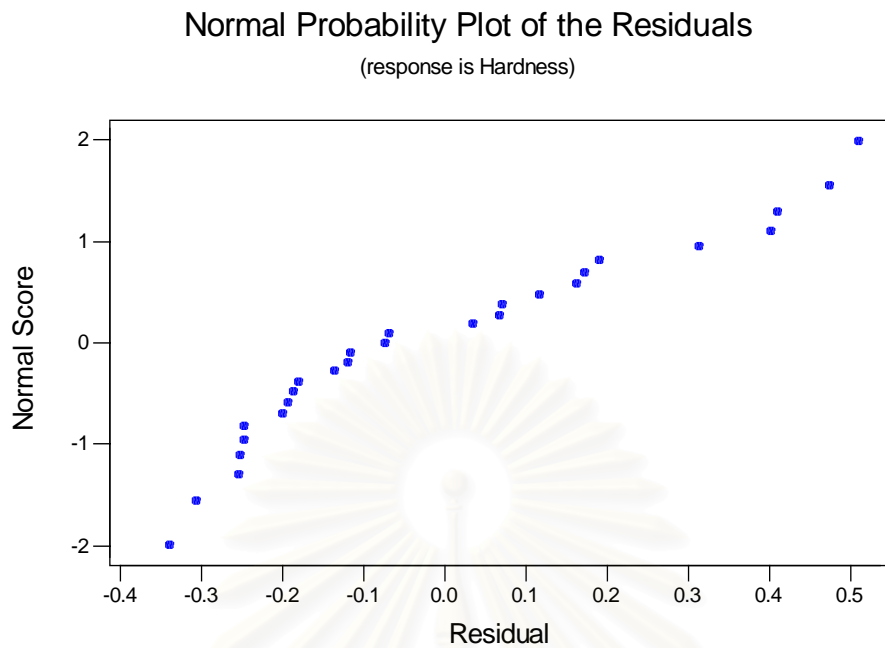
จากรูปที่ 4.43 แสดงกราฟของส่วนตกค้าง (Residual) กับปัจจัยของชนิดของผงเชื่อม และ รูปที่ 4.44 แสดงกราฟของส่วนตกค้างกับปัจจัยอุณหภูมิที่ทำกรอบ พบว่าระยะความสูงของแต่ละปัจจัยใกล้เคียงกันไม่เป็นทรงกรวย แต่เป็นทรงกระบอก ซึ่งไม่ก่อให้เกิดความแปรปรวนไม่คงตัว ซึ่งทำให้เกิดการแจกแจงที่บิดเบี้ยว

Histogram of the Residuals

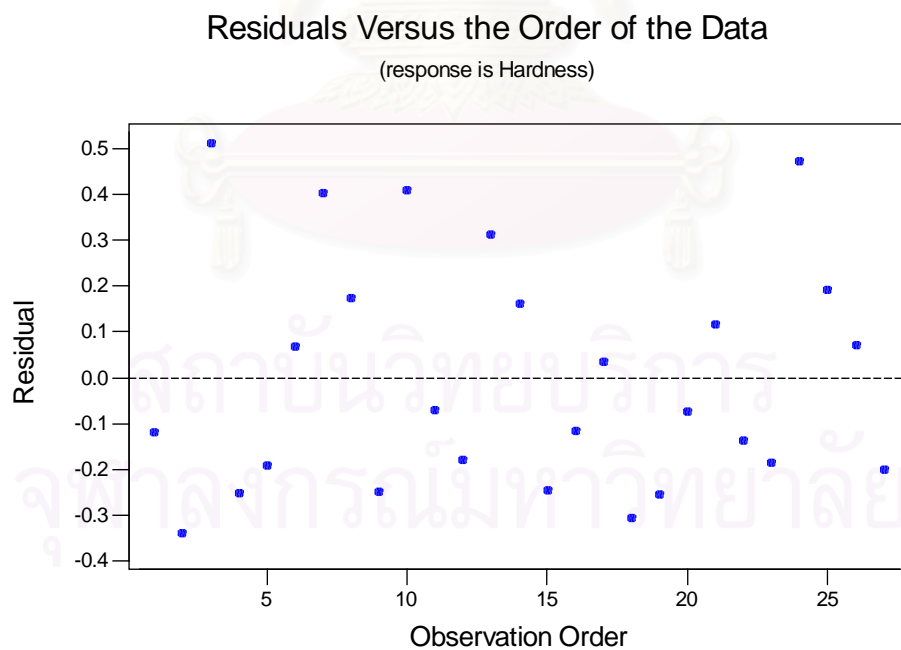
(response is Hardness)



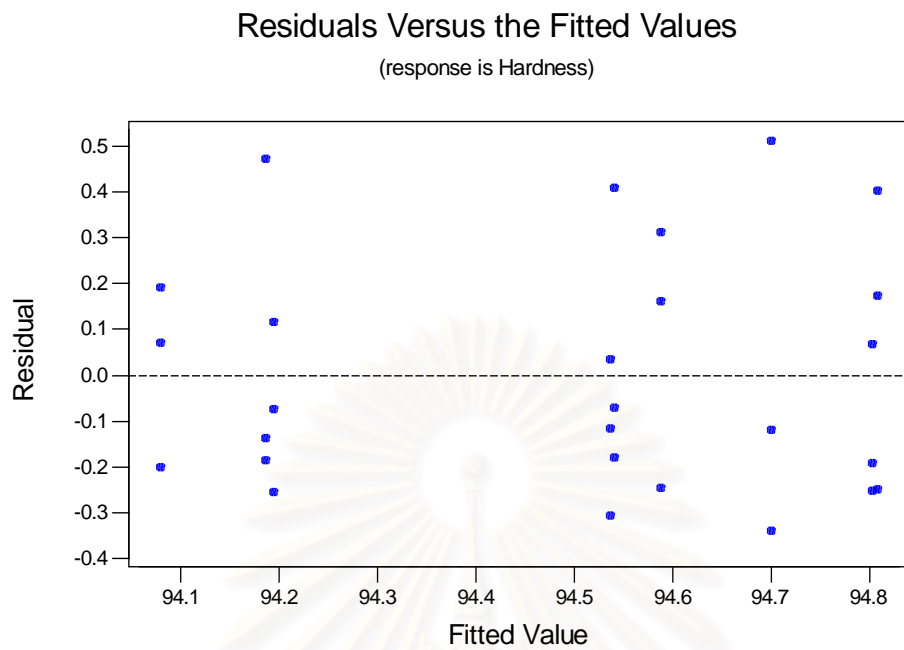
รูปที่ 4.39 แผนภูมิแสดง Histogram ของ Residual ที่ตอบสนองต่อค่าความแข็งของรอยเชื่อม



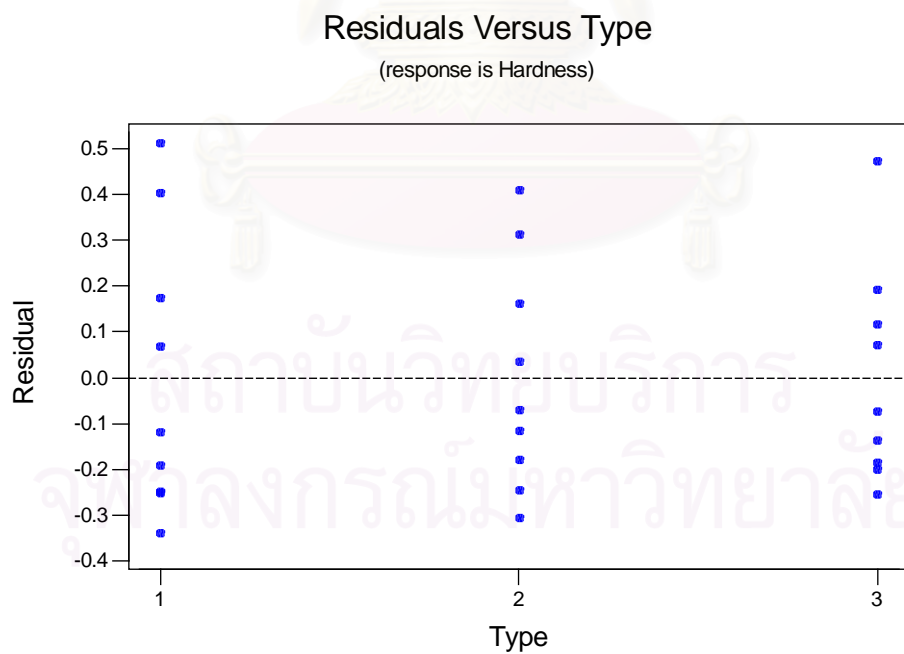
รูปที่ 4.40 กราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ ของ Residual ระหว่างค่าความแข็งของรอยเชื่อม ของชนิดผงเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบ



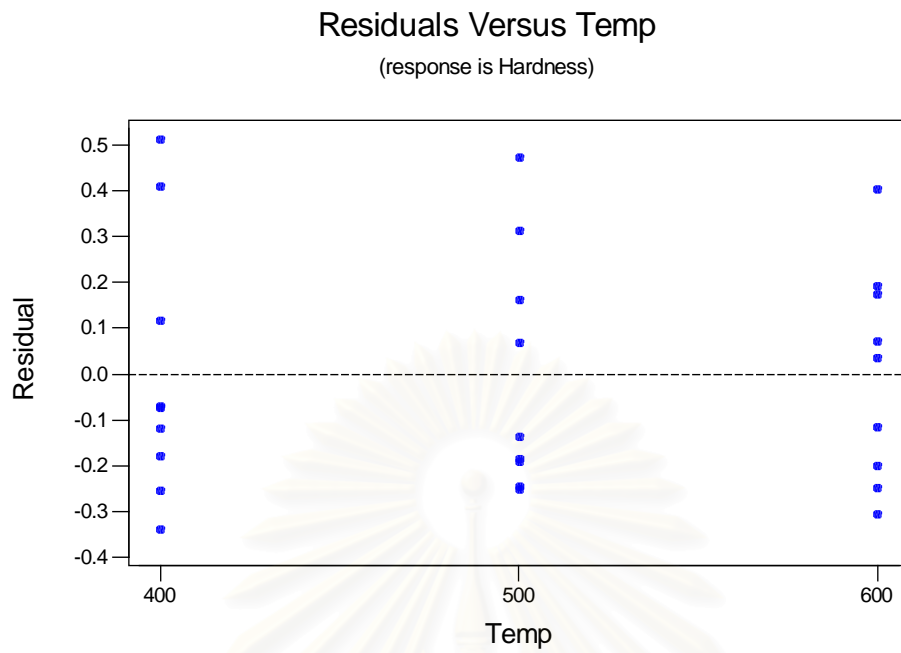
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงส่วนตกค้างกับช่วงเวลาที่ได้รับข้อมูล



รูปที่ 4.42 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าความแข็งของชิ้นงาน



รูปที่ 4.43 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะ



รูปที่ 4.44 แผนภูมิแสดง ส่วนตกค้างระหว่างค่าอุณหภูมิอบชิ้นงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของรอยเชื่อม

เหตุที่พิจารณาความสัมพันธ์คุณสมบัติเชิงกลโดยผันแปรกับค่าแรงดึงที่จุดขาด เนื่องจากคุณสมบัติเชิงกลดังกล่าวมีความสำคัญการยึดเกาะของรอยเชื่อมโดยตรง และนำมาพิจารณาในการประเมินการเชื่อมเพื่อยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด จึงเป็นที่น่าสนใจว่าค่าแรงดึงที่จุดขาดมีความสัมพันธ์กับคุณสมบัติเชิงกลอย่างอื่นอย่างไรบ้าง

กราฟความสัมพันธ์ค่าทนแรงดึงที่จุดขาดที่แปรผันกับคุณสมบัติเชิงกลด้านต่างๆ ซึ่งแสดงถึงแนวโน้มความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ โดยการประมาณรูปแบบความสัมพันธ์แบบเส้นตรง หรือโพลีโนเมียลกำลังสอง ซึ่งมีดังต่อไปนี้

4.3.1 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อมโลหะ

จากรูป 4.45 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ค่าทนแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมดังตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่วัดได้ในตารางที่ 4.6 และชนิดของผงเชื่อมมาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.45 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อมโลหะ ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = 19427663 - 407555 H - 151818 \text{Type} + 2138H^2 - 1218\text{Type}^2 + 1567H*\text{Type} \dots (4.5)$$

เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)

H = ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม (HRB)

Type = ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3

สมการถดถอยสมการที่ (4.5) จะสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 87.4% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

Response Surface Regression: Tensile versus Hardness, Type

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	19427663	13714927	1.417	0.171
Hardness	-407555	288398	-1.413	0.172
Type	-151818	88806	-1.710	0.102
Hardness*Hardness	2138	1516	1.410	0.173
Type*Type	1218	250	4.872	0.000

Hardness*Type 1567 934 1.678 0.108
 S = 460.3 R-Sq = 87.4% R-Sq(adj) = 84.4%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	30797205	30797205	6159441	29.07	0.000
Linear	2	24678287	630434	315217	1.49	0.249
Square	2	5522397	5038949	2519475	11.89	0.000
Interaction	1	596521	596521	596521	2.82	0.108
Residual Error	21	4448806	4448806	211848		
Lack-of-Fit	20	4052756	4052756	202638	0.51	0.823
Pure Error	1	396050	396050	396050		
Total	26	35246011				

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	7700.000	8639.304	217.631	-939.304	-2.32R
21	7600.000	8518.742	208.693	-918.742	-2.24R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่ 4.45 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อมโลหะ

4.3.2 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากรูป 4.46 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ค่าทนแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมดังตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่วัดได้ในตารางที่ 4.6 และโมดูลัสของรอยเชื่อมในตารางที่ 4.5 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.46 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและโมดูลัสของรอยเชื่อม ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = 25098657 - 531565 H + 2816H^2 \dots\dots\dots(4.6)$$

- เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)
- H = ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม (HRB)
- E-Mo = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (MPa)

สมการถดถอยสมการที่ (4.6) จะเห็นว่าความสัมพันธ์ในเทอมของตัวแปร E-Mod ไม่มีในสมการ และ สามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 76.4% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่าอนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 80%) สามารถสรุปได้ว่า ค่าแรงดึงที่จุดขาดไม่มีความสัมพันธ์กับค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

Response Surface Regression: Tensile versus Hardness, E-Modulus

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	25098657	14388605	1.744	0.096
Hardness	-531565	305736	-1.739	0.097
E-Modulu	0	0	0.976	0.340
Hardness*Hardness	2816	1624	1.734	0.098
E-Modulu*E-Modulu	0	0	3.174	0.005
Hardness*E-Modulu	-0	0	-1.006	0.326

S = 629.9 R-Sq = 76.4% R-Sq(adj) = 70.7%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	26912580	26912580	5382516	13.56	0.000
Linear	2	21301279	1527717	763859	1.92	0.171
Square	2	5209547	3999825	1999912	5.04	0.016
Interaction	1	401754	401754	401754	1.01	0.326
Residual Error	21	8333431	8333431	396830		
Total	26	35246011				

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
16	6210.000	7396.832	227.360	-1186.832	-2.02R
18	6372.000	7587.474	200.658	-1215.474	-2.04R
24	9256.000	8367.678	504.250	888.322	2.35R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่ 4.46 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับความแข็งแรงของรอยเชื่อมและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

4.3.3 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งแรงของรอยเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากรูป 4.47 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ค่าทนแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมดังตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลค่าความแข็งแรงของรอยเชื่อมที่วัดได้ในตารางที่ 4.6 และความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมในตารางที่ 4.4 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.47 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = 21429764 - 449122 H + 5119385 E + 2354H^2 + 779488E^2 + 53397H*E \dots \dots \dots (4.7)$$

เมื่อ	T_x	=	ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)
	H	=	ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม (HRB)
	E	=	ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (mm)

สมการถดถอยสมการที่ (4.7) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาด ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 70.7% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 80%) สามารถสรุปได้ว่า สมการความสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับค่าความแข็งของรอยเชื่อมและค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

Response Surface Regression: Tensile versus Hardness, Elogate

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	21429764	16924829	1.266	0.219
Hardness	-449122	355602	-1.263	0.220
Elogate	-5119385	4070336	-1.258	0.222
Hardness*Hardness	2354	1868	1.260	0.221
Elogate*Elogate	779488	374509	2.081	0.050
Hardness*Elogate	53397	42704	1.250	0.225

S = 700.9 R-Sq = 70.7% R-Sq(adj) = 63.8%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	24930457	24930457	4986091	10.15	0.000
Linear	2	22366329	854159	427080	0.87	0.434
Square	2	1796118	2164585	1082292	2.20	0.135
Interaction	1	768011	768011	768011	1.56	0.225
Residual Error	21	10315554	10315554	491217		
Total	26	35246011				

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	7700.000	9384.272	442.385	-1684.272	-3.10R
24	9256.000	8384.638	561.014	871.362	2.07R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่

4.3.4 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและ อุณหภูมิที่อบชิ้นงาน

จากรูป 4.48 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ค่าพจน์แรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมดังตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลค่าความแข็งของรอยเชื่อมที่วัดได้ในตารางที่ 4.3 และอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.48 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = 21609787 - 458671 H + 707Temp + 2433H^2 - 7H*Temp.....(4.8)$$

- เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)
- H = ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม (HRB)
- Temp = อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส

สมการถดถอยสมการที่ (4.8) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาด ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 56.7% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ค่อนข้างต่ำ (ต่ำกว่า 80%) สามารถสรุปได้ว่า สมการความสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับค่าความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน

Response Surface Regression: Tensile versus Hardness, Temp

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	21609784	10315748	2.095	0.048
Hardness	-458671	218078	-2.103	0.048
Temp	707	500	1.415	0.172
Hardness*Hardness	2433	1153	2.111	0.047
Temp*Temp	-0	0	-1.294	0.210
Hardness*Temp	-7	5	-1.326	0.199

S = 852.3 R-Sq = 56.7% R-Sq(adj) = 46.4%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	19989597	19989597	3997919	5.50	0.002

Linear	2	14626499	4879498	2439749	3.36	0.054
Square	2	4084952	3884507	1942254	2.67	0.092
Interaction	1	1278147	1278147	1278147	1.76	0.199
Residual Error	21	15256413	15256413	726496		
Lack-of-Fit	20	15256269	15256269	762813	5E+03	0.011
Pure Error	1	145	145	145		
Total	26	35246011				

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
24	9256.000	6785.450	306.480	2470.550	3.11R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่ 4.48 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน

4.3.5 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากรูป 4.49 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลแรงดึงที่จุดขาดตารางที่ 4.3 ชนิดของผงเชื่อมโลหะ และความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม ที่ตาราง 4.4 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.49 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = 8771 - 4575 \text{ Type} + 32763 E + 1398\text{Type}^2 - 635164E^2 + 129404\text{Type} * E \dots \dots \dots (4.9)$$

- เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)
- E = ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (mm)
- Type = ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3

สมการถดถอยสมการที่ (4.9) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 89.6% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่า สมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับชนิดของผงเชื่อมและค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

Response Surface Regression: Tensile versus Type, Elogate

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	8771	760	11.543	0.000
Type	-4575	1012	-4.523	0.000
Elogate	32763	25146	1.303	0.207
Type*Type	1398	500	2.799	0.011
Elogate*Elogate	-635164	428309	-1.483	0.153
Type*Elogate	12904	22622	0.570	0.574

S = 417.2 R-Sq = 89.6% R-Sq(adj) = 87.2%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	31591521	31591521	6318304	36.31	0.000
Linear	2	24786695	3973592	1986796	11.42	0.000
Square	2	6748202	3119209	1559605	8.96	0.002
Interaction	1	56624	56624	56624	0.33	0.574
Residual Error	21	3654490	3654490	174023		
Lack-of-Fit	19	2258416	2258416	118864	0.17	0.990
Pure Error	2	1396074	1396074	698037		
Total	26	35246011				

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
9	5923.000	5802.698	342.660	120.302	0.51 X
19	7700.000	7738.944	364.098	-38.944	-0.19 X
21	7600.000	8784.703	155.662	-1184.703	-3.06R

R denotes an observation with a large standardized residual.

X denotes an observation whose X value gives it large influence.

รูปที่ 4.49 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับชนิดของผงเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

4.3.6 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากรูป 4.50 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลแรงดึงที่จุดขาดตารางที่ 4.3 ชนิดของผงเชื่อมโลหะ และโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม ที่ตาราง 4.5 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.50 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = -140.8 + 3373.4 \text{ Type} - 78.4 \text{Type}^2 \dots\dots\dots(4.10)$$

เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)

Type = ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3

สมการถดถอยสมการที่ (4.10) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาด ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 92.8% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ลองพิจารณาสมการ(4.10) พบว่าค่าตัวแปรในเทอมของ E-Mo (E-Modulus) ไม่ปรากฏในสมการเลย จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมไม่มีความสัมพันธ์กับค่าแรงดึงที่จุดขาดและชนิดของผงเชื่อม มีแต่ชนิดของผงเชื่อมแปรค่ากับค่าแรงดึงที่จุดขาด

Response Surface Regression: Tensile versus Type, E-Modulus

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-140.8	4335.04	-0.032	0.974
Type	3373.4	2658.17	1.269	0.218
E-Modulu	0.0	0.01	1.238	0.229
Type*Type	-78.4	426.42	-0.184	0.856
E-Modulu*E-Modulu	-0.0	0.00	-0.431	0.671
Type*E-Modulu	-0.0	0.00	-2.022	0.056

S = 347.3 R-Sq = 92.8% R-Sq(adj) = 91.1%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	32712511	32712511	6542502	54.23	0.000
Linear	2	24682622	196266	98133	0.81	0.457
Square	2	7536554	32877	16439	0.14	0.873
Interaction	1	493336	493336	493336	4.09	0.056
Residual Error	21	2533500	2533500	120643		
Total	26	35246011				

รูปที่ 4.50 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับชนิดของผงเชื่อมและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

4.3.7 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากรูป 4.51 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลแรงดึงที่จุดขาดตารางที่ 4.3 อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน และโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม ที่ตาราง 4.5 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.51 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = 17118.4 - 15.1 \text{ Temp} \dots\dots\dots(4.11)$$

เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)
 Temp = อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส

สมการถดถอยสมการที่ (4.11) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 87.8% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ลองพิจารณาสมการ(4.11) พบว่าค่าตัวแปรในเทอมของ E (Elongation) ไม่ปรากฏในสมการเลย จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมไม่มีความสัมพันธ์กับค่าแรงดึงที่จุดขาดและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน มีแต่อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานแปรค่ากับค่าแรงดึงที่จุดขาด

Response Surface Regression: Tensile versus Temp, E-Modulus

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	17118.4	7344.97	2.331	0.030
Temp	-15.1	26.50	-0.570	0.574
E-Modulu	-0.0	0.01	-3.529	0.002
Temp*Temp	0.0	0.02	0.200	0.844
E-Modulu*E-Modulu	0.0	0.00	4.690	0.000
Temp*E-Modulu	0.0	0.00	1.067	0.298

S = 452.6 R-Sq = 87.8% R-Sq(adj) = 84.9%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	30945120	30945120	6189024	30.22	0.000
Linear	2	24457918	4084051	2042025	9.97	0.001
Square	2	6253844	6265912	3132956	15.30	0.000
Interaction	1	233358	233358	233358	1.14	0.298

Residual Error	21	4300891	4300891	204804
Total	26	35246011		

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
16	6210.000	7194.705	168.493	-984.705	-2.34R
17	6270.000	7181.619	168.508	-911.619	-2.17R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่ 4.51 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับ อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน

4.3.8 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากรูป 4.52 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลแรงดึงที่จุดขาดตารางที่ 4.3 อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน และความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม ที่ตาราง 4.4 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.52 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของชิ้นงาน ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = 4031 + 31Temp - 178610E + 507433E^2 + 313Temp * E \dots \dots \dots (4.12)$$

- เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)
- Temp = อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส
- E = ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (mm)

สมการถดถอยสมการที่ (4.12) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 91.6% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่า สมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน

Response Surface Regression: Tensile versus Temp, Elogate

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	4031	4108	0.981	0.338
Temp	31	16	1.969	0.062
Elogate	-178610	30007	-5.952	0.000
Temp*Temp	-0	0	-3.289	0.003
Elogate*Elogate	507433	151253	3.355	0.003
Temp*Elogate	313	42	7.492	0.000

S = 374.9 R-Sq = 91.6% R-Sq(adj) = 89.6%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	32295168	32295168	6459034	45.97	0.000
Linear	2	22250157	6349193	3174597	22.59	0.000
Square	2	2157389	4077926	2038963	14.51	0.000
Interaction	1	7887623	7887623	7887623	56.13	0.000
Residual Error	21	2950842	2950842	140516		
Lack-of-Fit	19	2922792	2922792	153831	10.97	0.087
Pure Error	2	28051	28051	14025		
Total	26	35246011				

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	7700.000	8332.135	276.808	-632.135	-2.50R

R denotes an observation with a large standardized residual.

รูปที่ 4.52 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของเชื่อม

4.3.9 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างค่าความยืดหยุ่นและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากรูป 4.53 การวิเคราะห์โปรแกรม MINITAB ความสัมพันธ์ที่ได้โดยนำข้อมูลแรงดึงที่จุดขาดตารางที่ 4.3 ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมตามตารางที่ 4.4 และโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมตารางที่ 4.5 มาทำการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล

จากรูปที่ 4.53 จะสามารถสรุปรูปแบบความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม ได้สมการถดถอยดังนี้

$$T_x = -5630 + 234350E - 780513E^2 \dots\dots\dots(4.13)$$

- เมื่อ T_x = ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิวตัน)
- $E-Mo$ = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (MPa)
- E = ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (mm)

สมการถดถอยสมการที่ (4.13) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 90.2% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ลองพิจารณาสมการ(4.13) พบว่าค่าตัวแปรในเทอมของ E-Mo (E-Modulus) ไม่ปรากฏในสมการเลย จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมไม่มีความสัมพันธ์กับค่าแรงดึงที่จุดขาดและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม มีแต่ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมแปรค่ากับค่าแรงดึงที่จุดขาด

Response Surface Regression: Tensile versus Elogate, E-Modulus

The analysis was done using uncoded units.

Estimated Regression Coefficients for Tensile

Term	Coef	SE Coef	T	P
Constant	-5630	3927	-1.434	0.166
Elogate	234350	67115	3.492	0.002
E-Modulu	0	0	1.696	0.105
Elogate*Elogate	-780513	307356	-2.539	0.019
E-Modulu*E-Modulu	-0	0	-0.560	0.581
Elogate*E-Modulu	-0	0	-2.960	0.007

S = 405.7 R-Sq = 90.2% R-Sq(adj) = 87.9%

Analysis of Variance for Tensile

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	5	31789601	31789601	6357920	38.63	0.000
Linear	2	21954083	2326183	1163092	7.07	0.005
Square	2	8393124	1088559	544280	3.31	0.056
Interaction	1	1442393	1442393	1442393	8.76	0.007
Residual Error	21	3456410	3456410	164591		
Total	26	35246011				

Unusual Observations for Tensile

Observation	Tensile	Fit	SE Fit	Residual	St Resid
19	7700.000	7765.150	345.925	-65.150	-0.31 X

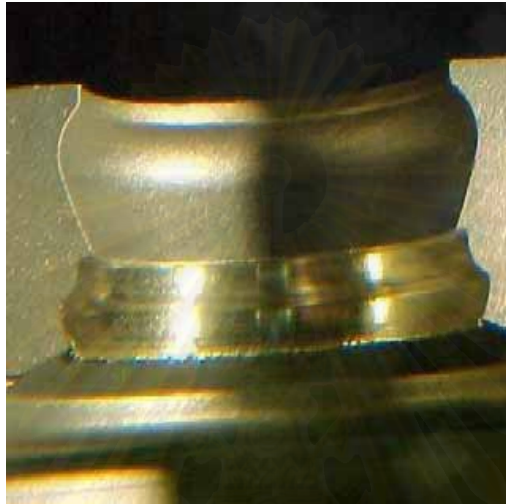
X denotes an observation whose X value gives it large influence.

รูปที่ 4.53 แสดงการคำนวณของโปรแกรม MINITAB ของค่าแรงดึงที่จุดขาดของรอยเชื่อมที่แปรค่ากับค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

4.4 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

4.4.1 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ของแต่ละผงเชื่อมที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด

จัดเตรียมแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ชำรุดบริเวณขอบปาก จำนวน 30 แม่พิมพ์ จากนั้นมาตรวจสอบค่าที่สำคัญ แล้วนำมาถลุงเนื้อบริเวณขอบที่ชำรุดออก เพื่อสามารถทำการเชื่อมได้ และมีพื้นที่ยึดเกาะ ดังแสดงในรูป



รูปที่ 4.54 แสดงการถลุงเนื้อบริเวณขอบปากที่ชำรุด ก่อนทำการเชื่อม

แล้วดำเนินการเชื่อมตามเงื่อนไขที่ดีที่สุดของแต่ละผงเชื่อม แล้วทำการถลุงขึ้นรูปให้ได้ตามแบบและทำการบันทึกผลอายุการใช้งาน



รูปที่ 4.55 แสดงให้เห็นรอยเชื่อมที่ทำการเชื่อมซ่อม และรูปที่ทำการถลุงใหม่แล้ว

ข้อมูลเบื้องต้นที่ทำการทดลองหาอายุการใช้ของแม่พิมพ์ คือ

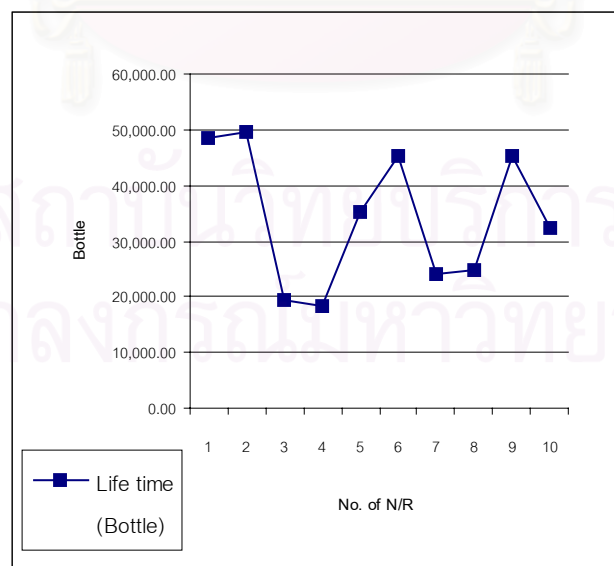
- ทำการผลิตที่เครื่อง: RB 41 ระหว่างวันที่ 10 กุมภาพันธ์ 2546- 14 มีนาคม 2546

อัตราเร็วของเครื่องในการผลิต: 145 ขวด/นาที อัตราเร็วเฉลี่ยต่อแม่พิมพ์ 7.25 ขวด/นาที;

ชื่องานที่ทำการผลิต: TG.185 640 ml. Chang beer bottle

	Item no.	Life time (Bottle)	Average	SD.
Welding powder no.22 (A)	1	48,430.00	34,251.01	12,264.70
	2	49,740.00		
	3	19,388.75		
	4	18,270.00		
	5	35,065.80		
	6	45,093.75		
	7	24,106.25		
	8	24,850.00		
	9	45,339.25		
	10	32,226.25		

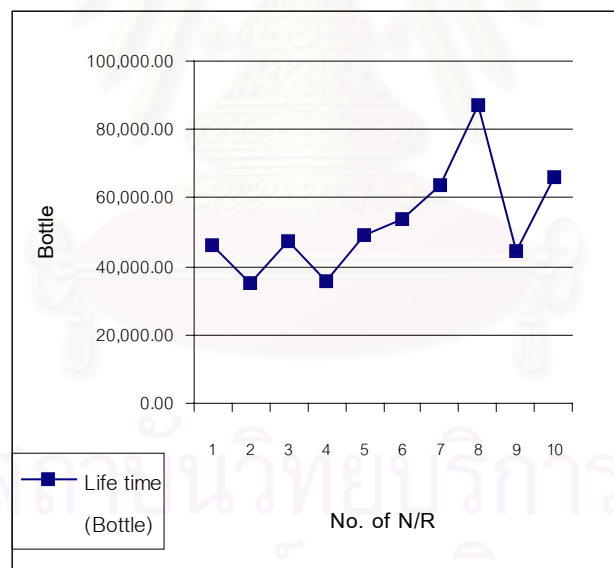
ตารางที่ 4.14 แสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม A (Colmonoy No 22) ที่อุณหภูมิ 400 °C



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม A (Colmonoy No 22) ที่อุณหภูมิ 400 °C

	Item no.	Life time (Bottle)	Average	SD.
Welding powder no.24	1	46,247.00	52,860.90	15,802.81
	2	34,872.50		
	3	47,632.50		
	4	35,597.50		
	5	48,865.00		
	6	54,085.00		
	7	64,032.00		
	8	87,113.75		
	9	44,370.00		
	10	65,793.75		

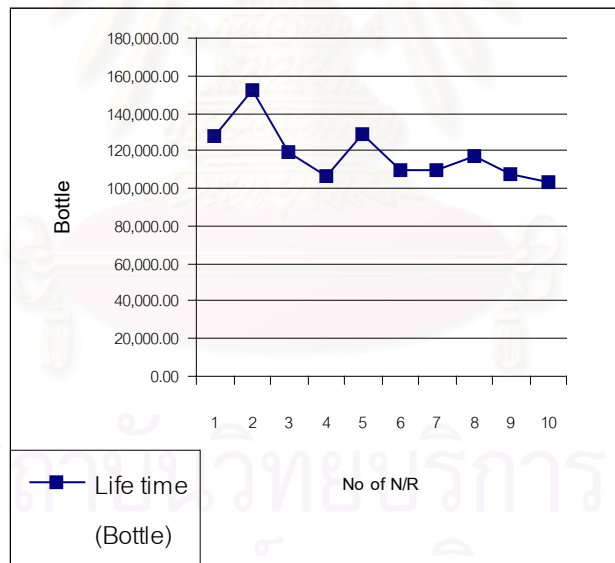
ตารางที่ 4.15 แสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม B (Colmonoy No 24) ที่อุณหภูมิ 400 °C



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการเชื่อมด้วยผงเชื่อม B (Colmonoy No 24) ที่อุณหภูมิ 400 °C

	Item no.	Life time (Bottle)	Average	SD.
Welding powder No.225	1	127,455.00	118,355.55	14,839.82
	2	152,721.25		
	3	119,625.00		
	4	107,010.00		
	5	128,832.50		
	6	110,200.00		
	7	109,678.75		
	8	116,688.75		
	9	108,097.50		
	10	103,246.75		

ตารางที่ 4.16 แสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำกรเชื่อมด้วยผงเชื่อม C (Colmonoy No 225) ที่อุณหภูมิ 500 °C



รูปที่ 4.58 กราฟแสดงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำกรเชื่อมด้วยผงเชื่อม C (Colmonoy No 225) ที่อุณหภูมิ 500 °C

4.4.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการจัดซ่อม

จากผลการใช้งานจริงพบว่า ค่าอายุการใช้งานเฉลี่ยของแม่พิมพ์ที่เชื่อมด้วยผงเชื่อม A B และ C โดยเทียบกับอายุแม่พิมพ์ใหม่ 238.4 K (x 1,000 ขวด) สามารถยืดอายุการใช้งานได้ คือ

- ผงเชื่อม A (Colmony No.22) สามารถทำการผลิตได้ 35,251.01 ขวด หรือประมาณ 34.2 K (x 1,000 ขวด) **สามารถยืดอายุงานได้ 14.3%**
- ผงเชื่อม B (Colmony No.24) สามารถทำการผลิตได้ 52,861 ขวด หรือประมาณ 52.9 K (x 1,000 ขวด) **สามารถยืดอายุงานได้ 22.2%**
- ผงเชื่อม C (Colmony No.225) สามารถทำการผลิตได้ 118,356 ขวด หรือประมาณ 118.3 K (x 1,000 ขวด) **สามารถยืดอายุงานได้ 49.6%**

จากการเปรียบเทียบอายุงานที่เพิ่มขึ้นของแม่พิมพ์ พบว่าผงเชื่อม C มีอายุการใช้งานได้ยาวนานที่สุด และเหมาะสมกับนำมาใช้งานยืดอายุแม่พิมพ์ นอกจากนี้มีตารางเปรียบเทียบค่าใช้ในการดำเนินการ ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงการแจกแจงค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพแม่พิมพ์ใช้แล้วต่อหน่วยแม่พิมพ์

ลำดับที่	รายการค่าใช้จ่าย	แม่พิมพ์ปรับสภาพ			
		วิธีเดิม	วิธีที่ 1	วิธีที่ 2	วิธีที่ 3
1	ค่าผงเชื่อม	180.21	180.21	180.21	179.85
2	ค่าไฟฟ้า	0.00	10.00	10.00	12.00
3	ค่าแรงในการกลึงขึ้นรูป	150.00	150.00	150.00	150.00
4	ค่าแรงในการเชื่อม-พืด/ขึ้น	75.00	75.00	75.00	75.00
5	ค่าในการตรวจสอบ/อื่นๆ	10.00	10.00	10.00	10.00
6	ค่าวัสดุอุปกรณ์	15.00	15.00	15.00	15.00
	รวม	430.21	440.21	440.21	441.85

หน่วย : บาท

หมายเหตุ 1* เนื่องจากค่าผงเชื่อมในแต่ละวิธีไม่เท่ากันสามารถแจกแจงได้ดังนี้

วิธีเดิม ใช้ผงเชื่อม Colmonoy No.24 (B) ราคา

6,007 บาทต่อ 5 กก.

วิธีที่ 1 ใช้ผงเชื่อม Colmonoy No.22 (A) ราคา

6,007 บาทต่อ 5 กก.

วิธีที่ 2 ใช้ผงเชื่อม Colmonoy No.24 (B) ราคา

6,007 บาทต่อ 5 กก.

วิธีที่ 3 ใช้ผงเชื่อม Colmonoy No.225 (C) ราคา

5,995 บาทต่อ 5 กก.

2* ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในการอบชิ้นงาน สามารถแจกแจงได้ดังนี้

วิธีเดิม ไม่ใช้ไฟฟ้า เนื่องจากทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ

วิธีที่ 1 ใช้อุณหภูมิที่อบชิ้นงานที่ 400 องศาเซลเซียส

วิธีที่ 2 ใช้อุณหภูมิที่อบชิ้นงานที่ 400 องศาเซลเซียส

วิธีที่ 3 ใช้อุณหภูมิที่อบชิ้นงานที่ 500 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 สรุปตารางผลการทดลอง

จากการทดลองทั้งหมดที่ได้ดำเนินการมาในงานวิจัยนี้ สามารถนำมาสรุปเป็นตารางผลการทดลองได้ดังนี้

Y	หน่วย	สมการความสัมพันธ์	R ²
1. แรงดึงที่จุดขาด	นิวตัน	$Y_x = 6230 - 5284\text{Type} + 18\text{Temp} + 1009\text{Type}^2 + 5\text{Temp}*\text{Type}$	94.6%
2. ค่าความยืดหยุ่น	มิลลิเมตร	$Y_x = 0.113537 + 0.004417\text{Type} - 0.000428\text{Temp} + 0.013944\text{Type}^2 + 0.000001\text{Temp}^2 - 0.000066\text{Type}*\text{Temp}$	91.1%
3. ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น	MPa	$Y_x = 179487 - 5819\text{Type} + 2938\text{Temp} - 29893\text{Type}^2 - 4\text{Temp}^2 - 164\text{Type}*\text{Temp}$	90%
4. ค่าความแข็ง	HRB	$Y_x = 93.0469 + 0.3419\text{Type} + 0.0060\text{Temp} - 0.0926\text{Type}^2 - 0.0006\text{Type}*\text{Temp}$	51.8%
แรงดึงที่จุดขาดแปรผัน ค่าคุณสมบัติเชิงกลอื่น	หน่วย	สมการความสัมพันธ์	R²
1. ความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อมโลหะ	นิวตัน	$T_x = 19427663 - 407555\text{H} - 151818\text{Type} + 2138\text{H}^2 - 1218\text{Type}^2 + 1567\text{H}*\text{Type}$	87.4%
2. ความแข็งของรอยเชื่อมและโมดูลัสของรอยเชื่อม	นิวตัน	$T_x = 25098657 - 531565\text{H} + 2816\text{H}^2$	76.4%
3. ความแข็งของรอยเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม	นิวตัน	$T_x = 21429764 - 449122\text{H} + 5119385\text{E} + 2354\text{H}^2 + 779488\text{E}^2 + 53397\text{H}*\text{E}$	70.7%
4. ความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน	นิวตัน	$T_x = 21609787 - 458671\text{H} + 707\text{Temp} + 2433\text{H}^2 - 7\text{H}*\text{Temp}$	56.7%
5. ชนิดของผงเชื่อมโลหะและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน	นิวตัน	$T_x = 8771 - 4575\text{Type} + 32763\text{E} + 1398\text{Type}^2 - 635164\text{E}^2 + 129404\text{Type}*\text{E}$	89.6%
6. ชนิดของผงเชื่อมโลหะและโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน	นิวตัน	$T_x = -140.8 + 3373.4\text{Type} - 78.4\text{Type}^2$	92.8%

7. ชนิดของผงเชื่อมโลหะ และโมดูลัสความยืดหยุ่นของชิ้นงาน	นิเวศน์	$T_x = 17118.4 - 15.1 \text{ Temp}$	87.8%
8. อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของชิ้นงาน	นิเวศน์	$T_x = 4031 + 31\text{Temp} - 178610E + 507433E^2 + 313\text{Temp} * E$	91.6%
9. อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของชิ้นงาน	นิเวศน์	$T_x = -5630 + 234350E - 780513E^2$	90.2%

ตารางที่ 4.18 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของรอยเชื่อม

โดยที่	Y_x	=	ค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติเชิงกลที่กำลังพิจารณา
	T_x	=	ค่าเฉลี่ยแรงดึงที่จุดขาดที่ X (นิเวศน์)
	E-Mo	=	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (MPa)
	E	=	ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (mm)
	Temp	=	อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าระหว่าง 400-600 องศาเซลเซียส
	Type	=	ชนิดของผงเชื่อมโลหะ โดยที่ ผงโลหะ A = 1, B=2, C=3
	H	=	ความแข็งบริเวณรอยเชื่อม (HRB)

จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรอิสระ คือ อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ที่มีค่าระหว่าง 400 – 600 องศาเซลเซียส และ ชนิดของผงเชื่อมโลหะ คือ A, B และ C ซึ่งแปรค่าตัวแปรดังกล่าวทำค่าแรงดึงที่จุดขาด ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น ค่าความยืดหยุ่น เปลี่ยนไปอย่างมีความสัมพันธ์เชิงสมการ

ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลของแม่พิมพ์ปรับสภาพ

ชนิดของผงเชื่อม	ค่าคุณสมบัติเชิงกลที่ทำการทดสอบ				อายุการใช้งาน ของแม่พิมพ์ (ชม. การผลิต)	จำนวนการผลิต (ขวด)
	แรงดึงที่จุดขาด N	% Elongation	E-Modulus MPa	Hardness HRB		
A	6,738.00	4.00%	581,094	94.72	3.94	34,251.00
B	6,694.00	4.30%	565,694	94.59	6.07	52,860.00
C	9,205.00	9.50%	98,785	94.24	13.60	118,355.00
เดิม1	4,784.00	N/A	N/A	N/A	2.82	24,573.00
เดิม2	7,325.00	N/A	N/A	N/A	9.29	80,830.00
เดิม3	5,340.00	N/A	N/A	N/A	3.85	33,564.00

หมายเหตุ : อัตราการผลิตเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 8,700 ขวด/ชั่วโมง

- เดิม1 หมายถึง การเชื่อมแม่พิมพ์ โดยใช้ผงเชื่อม A แล้วทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ
- เดิม2 หมายถึง การเชื่อมแม่พิมพ์ โดยใช้ผงเชื่อม B แล้วทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ
- เดิม3 หมายถึง การเชื่อมแม่พิมพ์ โดยใช้ผงเชื่อม C แล้วทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ
- A หมายถึง ทำการเชื่อมแม่พิมพ์ ด้วยผงเชื่อม A และอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
- B หมายถึง ทำการเชื่อมแม่พิมพ์ ด้วยผงเชื่อม B และอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส
- C หมายถึง ทำการเชื่อมแม่พิมพ์ ด้วยผงเชื่อม C และอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

อภิปรายผลการทดลอง

5.1 ผลของคุณสมบัติเชิงกล และกายภาพ

5.1.1 แรงดึงที่จุดขาด (Tensile Strength)

เนื่องจากเป็นคุณสมบัติเชิงกลที่สำคัญในการพิจารณา มีผลต่อการยึดติดของรอยเชื่อมกับวัสดุที่ทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ทำมาจากบรอนซ์ซิลิคอนโดยตรง ผลการทดลองพบว่า ชนิดของผงเชื่อมโลหะ และอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงาน ส่งผลค่าแรงดึงที่จุดขาดอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสามารถอธิบายได้จากกราฟความสัมพันธ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การพิจารณาสมการความสัมพันธ์ พบว่า ชนิดของผงเชื่อมโลหะ C มีค่าแรงดึงที่จุดขาดสูงกว่าผงเชื่อมโลหะ B และ A ตามลำดับ และเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น มีผลให้ค่าแรงดึงที่จุดขาดเปลี่ยนไปเช่นกัน นอกจากนี้สามารถพิจารณาจากภาพโครงสร้างรอยเชื่อม A B และ C ที่กำลังขยายเท่ากัน แสดงให้เห็นว่าความหยาบพื้นผิวของรอยเชื่อม A ค่อนข้างมากที่สุด รองลงมา ของผงเชื่อม B และ C ตามลำดับ แสดงว่าขนาดเกรน (Grain size) ของผงเชื่อม C ละเอียดกว่าส่งผลให้ค่าทนแรงดึงสูงกว่าด้วย (Tensile strength)

5.1.2 ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม (Elongation)

เป็นคุณสมบัติที่พิจารณาเพิ่มเติมขึ้นมา ว่ามีผลกระทบต่อชนิดของผงเชื่อมโลหะ และอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงานหรือไม่ ผลการทดลองพบว่า ชนิดของผงเชื่อมโลหะ และอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงาน ส่งผลค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสามารถอธิบายได้จากกราฟความสัมพันธ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การพิจารณาสมการความสัมพันธ์ พบว่าอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงานมีผลต่อค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยตรง กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมเพิ่มขึ้นเช่นกัน และชนิดของผงเชื่อมมีผลให้ค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมเปลี่ยนไปเช่นกัน

5.1.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น (Elastic Modulus)

เป็นคุณสมบัติที่พิจารณาเพิ่มเติมขึ้นมา ว่ามีผลกระทบต่อชนิดของผงเชื่อมโลหะ และอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงานหรือไม่ ผลการทดลองพบว่า ชนิดของผงเชื่อมโลหะ และอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงาน ส่งผลค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสามารถอธิบายได้จากกราฟความสัมพันธ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การพิจารณา

สมการความสัมพันธ์ พบว่าชนิดของผงเชื่อมโลหะ A, B และ C มีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม และอุณหภูมิอบขึ้นงานที่เพิ่มสูงขึ้น สามารถสรุปได้ว่ามีผลต่อค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น กล่าวคือเมื่ออุณหภูมิการอบเพิ่มขึ้นค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นลดลงเช่นกัน

5.1.4 ความแข็ง (Hardness)

เป็นคุณสมบัติที่พิจารณาเพิ่มเติมขึ้นมา ว่ามีผลกระทบต่อชนิดของผงเชื่อมโลหะ และอุณหภูมิที่ทำการอบขึ้นงานหรือไม่ ผลการทดลองพบว่า ชนิดของผงเชื่อมโลหะ ส่งผลต่อความแข็งของรอยเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยสามารถอธิบายได้จากกราฟความสัมพันธ์ การวิเคราะห์ความแปรปรวน การพิจารณาสมการความสัมพันธ์ พบว่าอุณหภูมิอบขึ้นงานที่เพิ่มสูงขึ้น ไม่มีผลต่อความแข็งของรอยเชื่อม

5.2 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของรอยเชื่อม

5.2.1 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อมโลหะ

จากการพิจารณาข้อมูลของค่าความแข็งของรอยเชื่อมและชนิดของผงเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 87.4% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% รูปแบบสมการความสัมพันธ์ โพลีโนเมียลกำลังสอง

5.2.2 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากการพิจารณาข้อมูลของค่าความแข็งของรอยเชื่อมและค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป จากสมการถดถอยสมการที่ (4.6) จะเห็นว่าความสัมพันธ์ในเทอมของตัวแปร E-Mo ไม่มีในสมการ และสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 76.4% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่า ค่าแรงดึงที่จุดขาดไม่มีความสัมพันธ์กับค่า

โมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม จากรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสมการ(4.6) ไม่สามารถนำเสนอได้

5.2.3 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากการพิจารณาข้อมูลของค่าความแข็งของรอยเชื่อมและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สมการถดถอยสมการที่ (4.7) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 70.7% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่าสมการความสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับค่าความแข็งของรอยเชื่อมและค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม รูปแบบสมการอธิบายความสัมพันธ์ (4.7) ไม่สามารถนำเสนอได้เช่นกัน

5.2.4 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่อบชิ้นงาน

จากการพิจารณาข้อมูลของค่าความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่อบชิ้นงาน โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สมการถดถอยสมการที่ (4.8) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 56.7% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่าสมการความสัมพันธ์ไม่สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับค่าความแข็งของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน รูปแบบสมการอธิบายความสัมพันธ์ (4.8) ไม่สามารถนำเสนอได้เช่นกัน

5.2.5 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากการพิจารณาข้อมูลของชนิดของผงเชื่อมโลหะและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สมการถดถอยสมการที่ (4.9) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of

determination, R^2) 89.6% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่า สมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับชนิดของผงเชื่อมและค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม สมการอธิบายความสัมพันธ์ (4.9) เป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง

5.2.6 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างชนิดของผงเชื่อมโลหะและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากการพิจารณาข้อมูลของชนิดของผงเชื่อมโลหะและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สมการถดถอยสมการที่ (4.10) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 92.8% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ลองพิจารณาสมการ (4.10) พบว่าค่าตัวแปรในเทอมของ E-Mo (E-Modulus) ไม่ปรากฏในสมการเลย จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมไม่มีความสัมพันธ์กับค่าแรงดึงที่จุดขาดและชนิดของผงเชื่อม มีแต่ชนิดของผงเชื่อมแปรค่ากับค่าแรงดึงที่จุดขาด รูปแบบสมการอธิบายความสัมพันธ์ (4.10) ไม่สามารถนำเสนอได้เช่นกัน

5.2.7 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากการพิจารณาข้อมูลของอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สมการถดถอยสมการที่ (4.11) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 87.8% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ลองพิจารณาสมการ(4.11) พบว่าค่าตัวแปรในเทอมของ E (Elongation) ไม่ปรากฏในสมการเลย จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมไม่มีความสัมพันธ์กับค่าแรงดึงที่จุดขาดและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน มีแต่อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานแปรค่ากับค่าแรงดึงที่จุดขาด รูปแบบสมการอธิบายความสัมพันธ์ (4.11) ไม่สามารถนำเสนอได้เช่นกัน

5.2.8 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากการพิจารณาข้อมูลของอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สมการถดถอยสมการที่ (4.12) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 91.6% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% สามารถสรุปได้ว่า สมการความสัมพันธ์สามารถอธิบายความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดกับค่าความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมและอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน สมการอธิบายความสัมพันธ์ (4.12) เป็นสมการโพลีโนเมียลกำลังสอง

5.2.9 ความสัมพันธ์ค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าระหว่างค่าความยืดหยุ่นและโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม

จากการพิจารณาข้อมูลของอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงานและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม โดยนำข้อมูลดังกล่าวมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ใช้โปรแกรมคำนวณ MINTAB โดยพิจารณาจากค่า R^2 ต้องมากกว่า 80% ขึ้นไป ผลจากการคำนวณคือ สมการถดถอยสมการที่ (4.13) จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 90.2% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% แต่ลองพิจารณาสมการ(4.13) พบว่าค่าตัวแปรในเทอมของ E-Mo (E-Modulus) ไม่ปรากฏในสมการเลย จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมไม่มีความสัมพันธ์กับค่าแรงดึงที่จุดขาดและความยืดหยุ่นของรอยเชื่อม มีแต่ความยืดหยุ่นของรอยเชื่อมแปรค่ากับค่าแรงดึงที่จุดขาด

การวิเคราะห์หาสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ ด้วยเทคนิคการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล โดยการประมาณรูปแบบความสัมพันธ์เป็นแบบเส้นตรง และโพลีโนเมียลดีกรี 2 ได้ผลสรุปของสมการดังแสดงในตารางที่ 4.15 ซึ่งผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม MINITAB ที่ได้ดังกล่าวนี้ ไม่ได้เป็นการแสดงว่า คุณสมบัติทั้งสองจะมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง หรือไม่มีความสัมพันธ์กันเลยแต่อย่างใด เพราะการที่จะอธิบายถึงความสัมพันธ์ที่แน่นอนของคุณสมบัติใดๆ นั้น จำเป็นต้องพิจารณาไปถึงโครงสร้างในระดับจุลภาคของรอยเชื่อม สำหรับงานวิจัยนี้ ผลที่ได้จึงเป็นเพียงการบ่งชี้ถึงลักษณะของแนวโน้มที่อาจเกิดขึ้นจากความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติคู่ใดคู่หนึ่งเท่านั้น

5.3 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

5.3.1 ผลการทดลองอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ของแต่ละผงเชื่อมที่เงื่อนไขที่ดีที่สุด

จากการศึกษาชนิดผงเชื่อมที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ปรับสภาพแล้ว สำหรับโรงงานผลิตขวดแก้วบรรจุ โดยใช้ Factorial Design จากการออกแบบการทดลองเป็นตัวกำหนด เงื่อนไขได้ 9 เงื่อนไขการทดลอง แล้วทำการเชื่อมขึ้นงานแล้วมาทดสอบแรงดึง และได้ค่าทนแรงดึงสูงสุดของแต่ละผงเชื่อม คือ

- ผงเชื่อม A (Colmonoy No.22) ที่อุณหภูมิอบขึ้นงาน 400°C
- ผงเชื่อม B (Colmonoy No.24) ที่อุณหภูมิอบขึ้นงาน 400°C
- ผงเชื่อม C (Colmonoy No.225) ที่อุณหภูมิอบขึ้นงาน 500°C

จากนั้นนำเงื่อนไขดังกล่าวมาเชื่อมแม่พิมพ์ ที่เตรียมไว้ ทำการเชื่อมตามเงื่อนไขที่กำหนด แล้วกลึงขึ้นรูป แล้วนำไปใช้งานจริง ปรากฏพบว่า

- ผงเชื่อม A (Colmonoy No.22) สามารถทำการผลิตได้ 35,251.01 ขวด หรือประมาณ 34.2 K (x 1,000 ขวด) **สามารถยืดอายุงานได้ 14.3%**
- ผงเชื่อม B (Colmonoy No.24) สามารถทำการผลิตได้ 52,861 ขวด หรือประมาณ 52.9 K (x 1,000 ขวด) **สามารถยืดอายุงานได้ 22.2%**
- ผงเชื่อม C (Colmonoy No.225) สามารถทำการผลิตได้ 118,356 ขวด หรือประมาณ 118.3 K (x 1,000 ขวด) **สามารถยืดอายุงานได้ 49.6%**

ในเงื่อนไขที่ใช้ผงเชื่อม C สามารถยืดอายุการใช้งานได้ 114 K (x1,000 ขวด) และนำข้อมูลมาเปรียบเทียบความคุ้มค่าเชิงเศรษฐกิจพบว่า ผงเชื่อม C สามารถตอบสนองได้ดีที่สุดในกลุ่มทดลอง

5.3.2 ผลการวิเคราะห์ต้นทุนในการจัดซื้อ

เนื่องจากทางบริษัท อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย จำกัด (มหาชน) พยายามลดต้นทุนการผลิต โดยทำการยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด โดยการใช้ผงเชื่อม B (Colmonoy No.24) มาลองใช้งาน ในตอนแรกเรามาพิจารณาปริมาณการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด ซึ่งมีข้อมูลดังนี้

ปี	ช่วงเวลา	ปริมาณการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด (ชิ้น)
2543	ไตรมาสที่ 1	285
	ไตรมาสที่ 2	296
	ไตรมาสที่ 3	305
	ไตรมาสที่ 4	354
	รวม	1240
2544	ไตรมาสที่ 1	315
	ไตรมาสที่ 2	326
	ไตรมาสที่ 3	312
	ไตรมาสที่ 4	374
	รวม	1327
2545	ไตรมาสที่ 1	350
	ไตรมาสที่ 2	330
	ไตรมาสที่ 3	305
	ไตรมาสที่ 4	315
	รวม	1300

ตารางที่ 5.1 แสดงปริมาณการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดต่อปี (หน่วย ชิ้น)

จากตารางที่ 5.1 เห็นว่า ปริมาณการใช้งานงานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดใหม่มีปริมาณลดลง ทั้งนี้เนื่องจาก มีความพยายามที่นำแม่พิมพ์ที่ปรับสภาพแล้วมาใช้งาน เพื่อเป็นการนำร่องความเป็นไปได้ในการลดต้นทุนการผลิต ดังแสดงในตารางที่ 5.2

การใช้งานของแม่พิมพ์ที่ทำการปรับสภาพ จะมีคำถามที่ว่า เมื่อสามารถยืดอายุการใช้งานได้จริง แต่จะก่อปัญหาเรื่องของเสียในกระบวนการผลิตหรือไม่ จากการเก็บข้อมูลเปรียบเทียบชนิดของเสียต่ออายุการใช้งานทั้งของแม่พิมพ์ใหม่ และแม่พิมพ์ที่ทำการปรับสภาพ พบว่าปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นแทบไม่แตกต่างกัน ซึ่งแสดงข้อมูลในตารางที่ 5.3 และตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณแม่พิมพ์ที่เสียออกมา โดยแยกชนิดของแม่พิมพ์ใหม่ กับ แม่พิมพ์ที่ผ่านการปรับสภาพ ซึ่งชี้ให้เห็นว่าปริมาณแม่พิมพ์ใหม่ที่แยกออกมา เนื่องจาก ขำรูดที่ช่องปากเหมาะสมต่อการปรับสภาพ

ตารางที่ 5.2 แสดงการนำไปใช้งานของแม่พิมพ์ปรับสภาพเปรียบเทียบกับแม่พิมพ์ใหม่

ปี : 2545

เดือนที่	จำนวนแม่พิมพ์ที่ผ่านการปรับสภาพที่นำไป	จำนวนแม่พิมพ์ใหม่ที่นำเข้าไปใช้	เปรียบเทียบสัดส่วนการนำไปใช้งานของแม่พิมพ์ปรับสภาพ	อายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยของแม่พิมพ์ปรับสภาพ (x1000)	อายุการใช้งานของเฉลี่ยของแม่พิมพ์ใหม่ (x1000)	อายุการใช้งานเฉลี่ยรวม (x 1000)
มกราคม	35	125	28.0%	2,828	29,800	32,628
กุมภาพันธ์	50	117	42.7%	4,040	27,893	31,933
มีนาคม	75	110	68.2%	6,060	26,224	32,284
เมษายน	80	110	72.7%	6,464	26,224	32,688
พฤษภาคม	120	108	111.1%	9,696	25,747	35,443

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เดือนที่	เปอร์เซ็นต์ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นของแม่พิมพ์ใหม่ต่ออายุการใช้งาน					เปอร์เซ็นต์ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นของแม่พิมพ์ปรับสภาพต่ออายุการใช้งาน				
	ขอบปากยื่น	ตะเข็บปาก	รอยเชื่อมปูด	ร้าวบริเวณปาก	รวม	ขอบปากยื่น	ตะเข็บปาก	รอยเชื่อมปูด	ร้าวบริเวณปาก	รวม
มกราคม	0.83%	0.02%	0.00%	0.04%	0.89%	0.52%	0.05%	0.12%	0.03%	0.72%
กุมภาพันธ์	0.75%	0.03%	0.00%	0.05%	0.83%	0.60%	0.06%	0.11%	0.05%	0.82%
มีนาคม	0.82%	0.02%	0.00%	0.06%	0.90%	0.57%	0.07%	0.11%	0.03%	0.78%
เมษายน	0.77%	0.04%	0.00%	0.05%	0.86%	0.55%	0.05%	0.13%	0.04%	0.77%
พฤษภาคม	0.80%	0.03%	0.00%	0.06%	0.89%	0.56%	0.07%	0.12%	0.06%	0.81%

ตารางที่ 5.3 แสดงเปอร์เซ็นต์ปริมาณของเสียของแม่พิมพ์ใหม่และแม่พิมพ์ปรับสภาพต่ออายุการใช้งาน

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เดือนที่	แม่พิมพ์ใหม่				แม่พิมพ์ปรับปรุงภาพ			
	ชำรุดบริเวณขอบปาก	หมดอายุการใช้งาน	ค่าใหญ่กว่า Spec.	อื่นๆ	ชำรุดบริเวณขอบปาก	หมดอายุการใช้งาน	ค่าใหญ่กว่า Spec.	อื่นๆ
กุมภาพันธ์	88	25	8	4	10	22	3	0
มีนาคม	83	24	7	3	15	30	3	2
เมษายน	75	22	6	7	25	35	8	7
พฤษภาคม	76	24	4	6	28	37	9	6

ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณแม่พิมพ์ที่เสียไม่สามารถใช้งานได้ แจกแจงเป็นประเภทของแม่พิมพ์ใหม่และแม่พิมพ์ปรับปรุงภาพ ระหว่าง เดือน กุมภาพันธ์ - พฤษภาคม 2545

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค่าใช้จ่ายที่ดำเนินการปรับสภาพแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดของแต่ละผงเชื่อมซึ่งได้ผลในบทที่ 4 ซึ่งรายละเอียดได้กล่าว คู่ที่ตาราง 5.5 สามารถเปรียบเทียบต้นทุนในการซ่อมและอายุการใช้งาน ดังนี้

ลำดับที่	แม่พิมพ์ปรับสภาพ	ค่าใช้จ่ายแม่พิมพ์	จำนวนการผลิต	อายุการใช้งาน	ค่าใช้จ่ายต่อหน่วยผลิต
		(บาท/หน่วย)	(ขวด)	(ชั่วโมงการผลิต)	(บาท/ขวด)
1	วิธีการเดิม	430.21	80,830	9.29	0.0053
2	วิธีการที่ 1	440.21	34,251	3.94	0.0129
3	วิธีการที่ 2	440.21	52,860	6.07	0.0083
4	วิธีการที่ 3	441.85	118,355	13.60	0.0037

หมายเหตุ: อัตราการผลิตเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 8,700 ขวด/ชั่วโมง

วิธีการเดิม หมายถึง การเชื่อมแม่พิมพ์ โดยใช้ผงเชื่อม B แล้วทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ

วิธีการที่ 1 หมายถึง ทำการเชื่อมแม่พิมพ์ ด้วยผงเชื่อม A และอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

วิธีการที่ 2 หมายถึง ทำการเชื่อมแม่พิมพ์ ด้วยผงเชื่อม B และอบที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

วิธีการที่ 3 หมายถึง ทำการเชื่อมแม่พิมพ์ ด้วยผงเชื่อม C และอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 5.5 แสดงการเปรียบเทียบต้นทุนในการซ่อมและอายุการใช้งานของแม่พิมพ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

- งานวิจัยเรื่องการศึกษาชนิดผงเชื่อมที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ปรับสภาพแล้วสำหรับโรงงานผลิตขวดแก้วบรรจุ ได้ผลสรุปรูปแบบความสัมพันธ์เชิงสมการคุณสมบัตินี้ และกายภาพดังนี้
 - แรงดึงที่จุดขาด (นิวตัน) มีความสัมพันธ์เชิงสมการ คือ $Y_x = 6230 - 5284\text{Type} + 18\text{Temp} + 1009\text{Type}^2 + 5\text{Temp}*\text{Type}$ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) ที่ 94.6% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ค่าความยืดหยุ่น (%) มีความสัมพันธ์เชิงสมการ คือ $Y_x = 0.113537 + 0.004417\text{Type} - 0.000428\text{Temp} + 0.013944\text{Type}^2 + 0.000001\text{Temp}^2 - 0.000066\text{Type}*\text{Temp}$ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) ที่ 91.1% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
 - ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (MPa) มีความสัมพันธ์เชิงสมการ คือ $Y_x = 179487 - 5819\text{Type} + 2938\text{Temp} - 29893\text{Type}^2 - 4\text{Temp}^2 - 164\text{Type}*\text{Temp}$ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) ที่ 90% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%
- เนื่องจากค่าแรงดึงที่จุดขาดที่แปรค่าตามค่าคุณสมบัติเชิงกลตัวอื่น (ยกเว้น ชนิดของผงเชื่อมและอุณหภูมิที่อบชิ้นงาน) ไม่สามารถนำความสัมพันธ์เชิงสมการไปใช้งานได้ เนื่องจากค่าคุณสมบัติเชิงกลดังกล่าวไม่สามารถควบคุมได้ในเชิงปฏิบัติ

เมื่อ

Temp = อุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน ค่าอยู่ระหว่าง $400\text{ }^{\circ}\text{C} - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$

Type = ชนิดของผงเชื่อมโลหะ A = 1, B = 2, C = 3

2. เงื่อนไขที่ดีที่สุด สำหรับการเชื่อมแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดเพื่อปรับสภาพ คือ ใช้ผงเชื่อม Colmonoy No.225 (C) โดยทำการอบที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชม. แล้วทิ้งให้เย็นตัวในเตา จะให้อายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ซ่อมเพิ่มขึ้น คือ สามารถทำการผลิตได้ 118,356 ขวด หรือประมาณ 118.3 K (x 1,000 ขวด) **สามารถยืดอายุงานได้ 49.6%** เมื่อเทียบกับอายุแม่พิมพ์ใหม่ เมื่ออายุแม่พิมพ์ใหม่เท่ากับ 238.4 K(x1,000) ขวด

3. ค่าใช้จ่ายในการปรับสภาพแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวด สำหรับค่าดำเนินการในข้อ 2 คือ 441.85 บาทต่อหนึ่งแม่พิมพ์ ซึ่งให้อายุการใช้งาน 118,355 ขวด เมื่อเทียบกับการปรับสภาพแม่พิมพ์แบบเดิม (ใช้ผงเชื่อม Colmonoy No.24 แล้วทิ้งให้เย็นตัวในอากาศ) คือ 430.21 บาท ต่อหนึ่งแม่พิมพ์ ซึ่งให้อายุการใช้งาน 80,830 ขวด

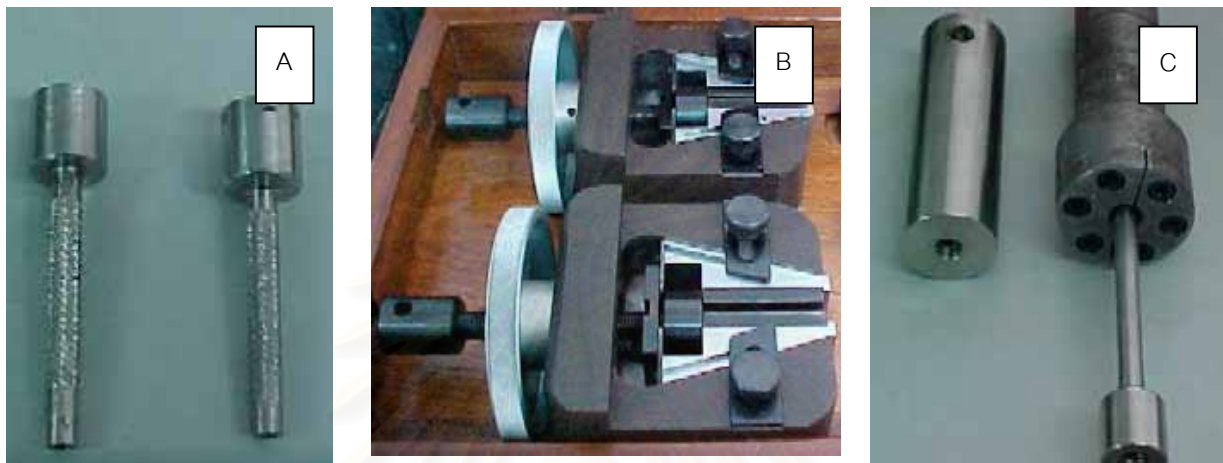
4. เนื่องจากทางหน่วยงานที่มีความรับผิดชอบเกี่ยวกับแม่พิมพ์ ที่บริษัท อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย (มหาชน) จำกัด จะมีปริมาณ แม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ชำรุดบริเวณปากขวดเฉลี่ย 80 แม่พิมพ์ (ร้อยละ 69.26 ของที่แยกทั้งหมด) สามารถยืดอายุรวมประมาณ 9,464 K(x 1,000) สามารถเทียบกับอายุงานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดของใหม่จำนวน 33.39 อัน (ราคาค่าแม่พิมพ์ใหม่ 1,600 บาท/แม่พิมพ์) รวมราคา 53,431 บาท และต้นทุนในการซ่อมแม่พิมพ์ 14,753 บาท **ดังนั้นสามารถลดต้นทุน/เดือน เท่ากับ 38,678 บาท**

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. การวิจัยการศึกษาชนิดผงเชื่อมที่มีผลต่ออายุการใช้งานของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่ปรับสภาพแล้วสำหรับโรงงานผลิตขวดแก้วบรรจุ เมื่อทำการวิจัยเสร็จแล้วอาจดูเหมือนง่ายตาย ทั้งนี้ดูเหมือนว่ามีขั้นตอนน้อย แต่สภาพการณ์ระหว่างทำการวิจัยพบว่า การทดสอบค่าทนแรงดึงของชิ้นงานทดสอบตามเงื่อนไขที่กำหนด มีอุปสรรคอยู่ 2 ประการ คือ

- การออกแบบชุดจับชิ้นงานเชื่อมและดำเนินการจัดทำชุดจับ ที่สามารถควบคุมระยะเชื่อมระหว่างชิ้นงานให้มีค่าคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด และสามารถหมุนชิ้นงานได้รอบตัวระหว่างทำการเชื่อม
- เงื่อนไขการทำงานเชื่อมมี 9 เงื่อนไขการทดลอง เมื่อทำการเชื่อมชิ้นงานเสร็จ และมาดำเนินการกลึงรอยเชื่อมออก ต้องทำการตรวจสอบว่ามีฟองอากาศ(Blow hole) ในรอยเชื่อมหรือไม่ ถ้ามี ซึ่งจะส่งผลต่อค่าทนแรงดึงของชิ้นงานได้ ถ้าหากระหว่างกลึงพบปัญหาดังกล่าว จำเป็นต้องมาทำการเชื่อมชิ้นงานทดสอบใหม่ตามเงื่อนไขที่กำหนด ระหว่างทนการทดสอบค่าทนแรงดึงของชิ้นงาน

- พบว่าชิ้นงานบางเงื่อนไขมีค่าทนแรงดึงสูงกว่าชิ้นงานทดสอบเงื่อนไขอื่น ทำให้ชุดจับชิ้นงานทดสอบแรงดึงที่ใช้กับเครื่องไม่สามารถทำการดึงได้เนื่องจากแรงจับไม่พอ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากด้ามจับชิ้นงานที่กึ่งกลางเอาไว้มันหลุดออก จึงต้องออกแบบชุดจับดึงชิ้นงานทดสอบใหม่และจัดสร้าง



รูปที่ 6.1 A แสดงชุดจับชิ้นงานเชื่อมที่ใช้ทดสอบแรงดึง ที่ปลายทำการกึ่งกลางเอาไว้

B แสดงชุดจับในภาพ A เข้าด้วยกัน และติดตั้งเครื่องทดสอบแรงดึง

C แสดงชุดจับชิ้นงานที่ออกแบบมาใหม่ โดยไม่อาศัยชุดจับ B

ระหว่างทำการเชื่อมชิ้นงานทดสอบ ตลอดจนเชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ปากขวดตามเงื่อนไขที่กำหนด นั้น การทำงานของช่างเชื่อมที่ปฏิบัติงาน มักจะเคยชินกับการปฏิบัติงานแบบเดิมๆ ละเลยกับเงื่อนไขที่กำหนด ดังนั้นต้องมีการสื่อสารที่ดี เพื่อความเข้าใจตรงกันในการปฏิบัติงาน และการควบคุมงานอย่างใกล้ชิดในเบื้องต้น เพื่อดำเนินการตรงเงื่อนไขที่กำหนด เป็นการแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำการวิจัยไปใช้ในการศึกษาหรือแก้ปัญหา การวิจัยย่อมมีเหตุผลทางวิทยาศาสตร์ที่แน่นอนไม่นิ่มเอียงยึดเกาะบางสิ่งบางอย่าง เมื่อสภาพการณ์เปลี่ยนไปก็ไม่ทำให้การวิเคราะห์บิดเบือนไป

2. งานวิจัยนี้ยึดถือการเชื่อมพ่นโลหะผง(Powder Spray Welding) โดยมาใช้เชื่อมซ่อมแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขวดที่วัสดุทำมาจากบรอนซ์ซิลิคอน ซึ่งตัวแปรที่พิจารณา คือ ชนิดของผงเชื่อม และอุณหภูมิที่ทำการอบชิ้นงาน เมื่อมองการวิจัยในอนาคตที่โยงความสัมพันธ์จากงานวิจัยในครั้งนี้ จึงมีข้อเสนอแนะเพื่อการวิจัยในอนาคต ดังนี้

1. งานวิจัยจะขยายออกทางด้าน

- หลักการออกแบบการทดลอง
- กรรมวิธีการผลิต เช่น วิธีการเชื่อมแบบต่างๆ วิธีทางเคมี ฯลฯ

- วัสดุชนิดอื่นๆ เช่น โลหะผสมนิกเกิล (Nickel Alloy) เหล็กหล่อ เหล็กเหนียว(Mild Steel) เป็นต้น
 - วัสดุของผงเชื่อมแบบอื่นๆ
 - ศึกษาเกี่ยวกับการยืดอายุแม่พิมพ์แบบอื่นๆ เช่น แม่พิมพ์ขูด แม่พิมพ์ขึ้นรูปโพรงปากขูด (Plunger) แม่พิมพ์ขอบปาก เป็นต้น
2. ใช้แนวทางการวิจัยนี้ เป็นรูปแบบสำหรับงานวิจัยอื่นที่ความซับซ้อนมากขึ้น โดยพิจารณาปัจจัยที่ผลต่อการเชื่อมเพิ่มขึ้นอีก
 3. ใช้งานวิจัยนี้ ทำการวิจัยความสัมพันธ์ในรายละเอียดต่อเนื่องกัน

นอกจากนี้สำหรับการนำข้อมูลจากการทดลองไปทดลองใช้งานซ่อมบำรุงแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากขูดแบบอื่นๆ ที่ไม่ใช่แบบ 26 mm.600 crown seal ที่มีเนื้อวัสดุเป็นบรอนซ์ซิลิคอน(Silicon Bronze) ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจซึ่งอาจเป็นประโยชน์สำหรับการวิจัยในอนาคต และมีการนำไปใช้ซ่อมบำรุงแม่พิมพ์แบบอื่นๆ ที่เนื้อวัสดุของแม่พิมพ์ที่เป็นบรอนซ์ซิลิคอน เช่น แม่พิมพ์กันของขูดที่มีการแตกร้าบริเวณขอบช่วงกันทำการเชื่อมและนำไปทดลองใช้งานอยู่ในขณะนี้ ซึ่งผลการใช้งานมีแนวโน้มที่ดี

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กาญจนา กาญจนสุนทร. ส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตพียูซีชนิดยืดหยุ่น.

วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539

คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย . ความน่าจะเป็นและสถิติ.กรุงเทพฯ:พิมพ์ครั้งที่ 7.

โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.

ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545

มนัส สติรจินดา. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก.กรุงเทพฯ: พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย :

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.

สุทธิวัฒน์ มหัทธมปกรณ. การศึกษานี้ปัจจัยของกรรมวิธีการเชื่อมระบบ TIG สำหรับท่อเหล็กกล้าไร้

สนิมเฟอร์ริติกชนิด SUS 463L. วิทยานิพนธ์ปริญญาามหาบัณฑิต วิศวกรรมอุตสาหการ

วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

ภาษาอังกฤษ

Hardface Alloys, Inc.. About Thermal Spray.[Online].2001, Available from:

<http://www.hardfacealloy.com/aboutthermalspray.html>[2001,February 20].

Hardface Alloys, Inc.. Spray process.[Online].2002, Available from:

<http://www.hardfacealloy.com/systemdescription.html>[2002,May 8]

Swain Technology, Inc. Spray Welding Cuts Cost[Online]. . Available from:

<http://www.ingress.com/-astanart/pritzker/pritzker.html>[1995,June 8]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายงานผลการทดลอง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การวิเคราะห์ความสำคัญของตัวแปร

ในที่นี้พิจารณาที่ระยะเวลาที่ทำการอบชิ้นงาน โดยการทำกรเชื่อมชิ้นงาน โดยใช้ผงเชื่อม Colmonoy No.24 และทำการอบชิ้นงานที่ 400 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง และ 3 ชั่วโมง จำนวนรวม 9 ชิ้นงาน แล้วนำชิ้นงานเชื่อมที่ได้มาทำการกลึงขึ้นรูปและทดสอบหาแรงดึงที่จุดขาดได้ผลดังนี้

ชิ้นงานที่	ค่าแรงดึงที่จุดขาด (นิวตัน)		
	1 Hr	2 Hrs	3 Hrs
1	6,673	6,640	6,645
2	6,670	6,638	6,634
3	6,685	6,682	6,650

ตาราง ผ-ก-1 แสดงค่าแรงดึงที่จุดขาดที่ระยะเวลาอบต่างๆ

Regression Analysis: Annealing T versus Tensile

The regression equation is
Annealing T = 208 - 0.0309 Tensile

Predictor	Coef	SE Coef	T	P
Constant	207.69	76.24	2.72	0.030
Tensile	-0.03090	0.01145	-2.70	0.031

S = 0.6482 R-Sq = 51.0% R-Sq(adj) = 44.0%

Analysis of Variance

Source	DF	SS	MS	F	P
Regression	1	3.0588	3.0588	7.28	0.031
Residual Error	7	2.9412	0.4202		
Total	8	6.0000			

รูปที่ ผ-ก-1 แสดงการคำนวณวิเคราะห์ความแปรปรวนของระยะเวลาทำการอบชิ้นงานโดยโปรแกรม

MINITAB

จะเห็นว่าสามารถทำนายค่าแรงดึงของรอยเชื่อมที่จุดขาดด้วยค่าสัมประสิทธิ์ของการคำนวณ (Coefficient of determination, R^2) 51.0% อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ซึ่งค่าที่ได้ค่อนข้างต่ำ ซึ่งสามารถกล่าวได้ว่าระยะเวลาที่ใช้ในการอบชิ้นงานไม่มีผลต่อค่าทดสอบ



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารสถาน 2 : จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188025-32, 2188101 โทรสาร 2546211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thair Rd. Pathumwan Bangkok 10330 Tel. 2188025-32, 2188101 Fax 2546211

Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 22	Run Number: 11	Measured: Tue Oct 8 2002 9:13AM
Sample File: PDJ	Record Number: 10	Analysed: Tue Oct 8 2002 9:14AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Preee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 3.8 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I.] = (1.4500, 0.1000):	Dispersant R.I. = 1.0000	Residual: 0.365 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0051 % Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1484 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 27.16 um	D (v, 0.5) = 42.83 um	D (v, 0.9) = 69.78 um
D [4, 3] = 49.40 um	D [3, 2] = 40.43 um	Span = 9.952E-01	Uniformity = 3.864E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	4.68	26.20	9.27
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.65	30.53	16.92
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	13.03	35.56	29.95
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	16.26	41.43	46.21
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	17.28	48.27	63.48
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	13.98	56.23	77.46
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.65	65.51	87.11
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	6.01	76.32	93.12
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.37	88.91	96.49
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.52	103.58	98.01
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.34	120.67	98.36
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.36
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.36
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.36
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.10	222.28	98.46
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.37	258.95	98.83
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.48	301.68	99.31
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.41	351.46	99.73
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.23	409.45	99.95
9.00	0.02	10.48	0.02	409.45	0.05	477.01	100.00
10.48	0.04	12.21	0.06	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.13	14.22	0.19	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.35	16.57	0.54	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.90	19.31	1.44	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.16	22.49	3.59				





ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ ๖๖๒ ๑ พญาไท: ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phayathai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

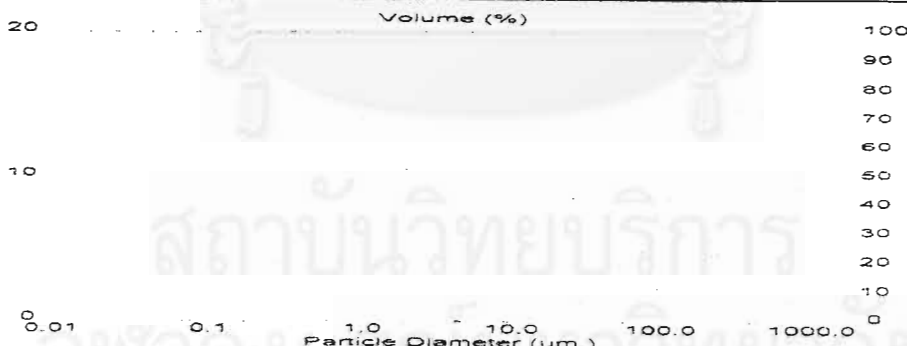
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 22	Run Number: 8	Measured: Tue Oct 8 2002 9:11AM
Sample File: POJ	Record Number: 7	Analysed: Tue Oct 8 2002 9:11AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 5.5 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = (1.4500, 0.1000)]	Dispersant R.I. = 1.0000]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.338 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0074 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1486 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 26.17 um	D (v, 0.5) = 43.79 um	D (v, 0.9) = 79.37 um
D [4, 3] = 52.07 um	D [3, 2] = 40.37 um	Span = 1.215E-00	Uniformity = 4.467E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	5.26	25.20	10.05
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.72	30.53	18.78
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	11.94	35.56	30.72
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	13.92	41.43	44.64
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	14.59	48.27	59.23
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	12.56	56.23	71.80
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.77	65.51	81.56
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	7.03	76.32	88.59
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	4.70	88.91	93.30
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	2.82	103.58	96.11
2.28	0.01	2.65	0.01	103.58	1.41	120.67	97.52
2.65	0.01	3.09	0.02	120.67	0.62	140.58	98.04
3.09	0.02	3.60	0.04	140.58	0.09	163.77	98.13
3.60	0.02	4.19	0.06	163.77	0.04	190.80	98.17
4.19	0.03	4.89	0.09	190.80	0.26	222.28	98.43
4.89	0.03	5.69	0.12	222.28	0.47	258.95	98.90
5.69	0.03	6.63	0.15	258.95	0.51	301.68	99.41
6.63	0.02	7.72	0.17	301.68	0.37	351.46	99.78
7.72	0.01	9.00	0.18	351.46	0.17	409.45	99.95
9.00	0.02	10.48	0.20	409.45	0.05	477.01	100.00
10.48	0.07	12.21	0.27	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.19	14.22	0.46	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.49	16.57	0.95	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	1.18	19.31	2.13	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.66	22.49	4.79				



Mävern Instruments Ltd
 Mävern, UK
 Tel: 0684 892456 Fax: 0684 892789

Mastersizer S long bed Ver. 2.15
 Serial Number:

08 Oct 02 11



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารตึก 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2182101 โทรสาร 2540211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2182101 Fax 2540211

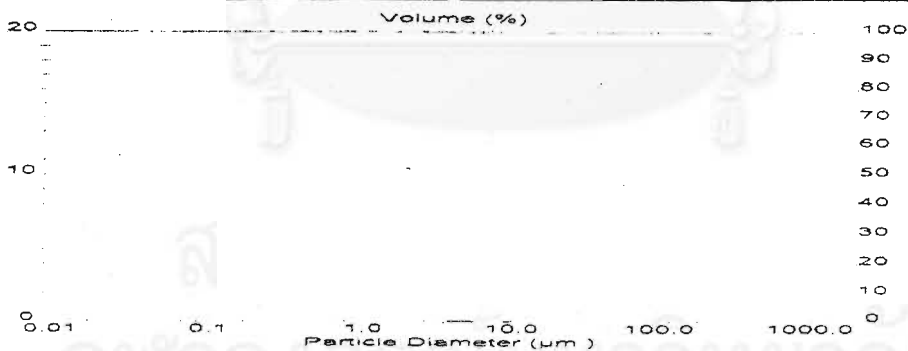
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 22	Run Number: 6	Measured: Tue Oct 8 2002 9:04AM
Sample File: POJ	Record Number: 6	Analysed: Tue Oct 8 2002 9:04AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 5.8 %
Presentation: 3RHA	(Particle R.I. = (1.4500, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.0000)	Residual: 0.398 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type/Volume	Concentration = 0.0075 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1542 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 26.19 um	D (v, 0.5) = 42.01 um	D (v, 0.9) = 69.91 um
D [4, 3] = 48.25 um	D [3, 2] = 38.92 um	Span = 1.041E+00	Uniformity = 3.921E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	5.38	26.20	10.02
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	9.38	30.53	19.40
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	13.34	35.56	32.74
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	15.76	41.43	48.50
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	16.21	48.27	64.71
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	13.11	56.23	77.82
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.29	65.51	87.11
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	5.96	76.32	93.05
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.42	88.91	96.48
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.59	103.58	98.07
2.28	0.00	2.65	0.01	103.58	0.42	120.67	98.49
2.65	0.01	3.09	0.02	120.67	0.00	140.58	98.49
3.09	0.02	3.60	0.04	140.58	0.00	163.77	98.49
3.60	0.03	4.19	0.06	163.77	0.00	190.80	98.49
4.19	0.03	4.88	0.10	190.80	0.19	222.28	98.68
4.88	0.04	5.69	0.13	222.28	0.39	258.95	99.07
5.69	0.03	6.63	0.16	258.95	0.43	301.68	99.50
6.63	0.02	7.72	0.19	301.68	0.31	351.46	99.81
7.72	0.02	9.00	0.20	351.46	0.19	409.45	100.00
9.00	0.02	10.48	0.22	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	0.07	12.21	0.29	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.18	14.22	0.47	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.46	16.57	0.93	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	1.12	19.31	2.05	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.59	22.49	4.64				



Malvern Instruments Ltd
 Malvern, UK
 Tel: 0684 592456 Fax: 0684 892788

Mastersizer S long bed Ver 2.15
 Serial Number

08 Oct 02



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารศูนย์วิจัยฯ จุฬาลงกรณ์ 62 ถนนพญาไท แขวงปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 โทร 2186029-32, 2186101 โทรสาร 2546211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Sob 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2186029-32, 2186101 Fax. 2546211

Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 24	Run Number: 1	Measured: Tue Oct 8 2002 9:19AM
Sample File: POJ	Record Number: 11	Analysed: Tue Oct 8 2002 9:19AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 4.2 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = {1.4500, 0.1000}]	Dispersant R.I. = 1.0000]	Residual: 0.426 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0056 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1493 sq. m / g
Mean Diameters:	D [v, 0.1] = 27.30 um	D [v, 0.5] = 42.01 um	D [v, 0.9] = 70.37 um
D [4, 3] = 49.66 um	D [3, 2] = 40.19 um	Span = 1.025E+00	Uniformity = 4.092E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	4.75	26.20	8.12
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	9.22	30.53	17.34
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	14.12	35.56	31.46
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	16.95	41.43	48.40
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	16.89	48.27	55.30
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	12.96	56.23	78.25
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	8.80	65.51	87.05
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	5.57	76.32	92.62
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.24	88.91	95.86
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.56	103.58	97.40
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.43	120.67	97.84
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	97.84
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	97.84
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	97.84
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.39	222.28	98.22
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.63	258.95	98.85
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.59	301.68	99.44
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.38	351.46	99.82
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.16	409.45	99.98
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.02	477.01	100.00
10.48	0.04	12.21	0.05	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.11	14.22	0.16	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.31	16.57	0.48	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.82	19.31	1.30	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.07	22.49	3.36				





ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 อ.พญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

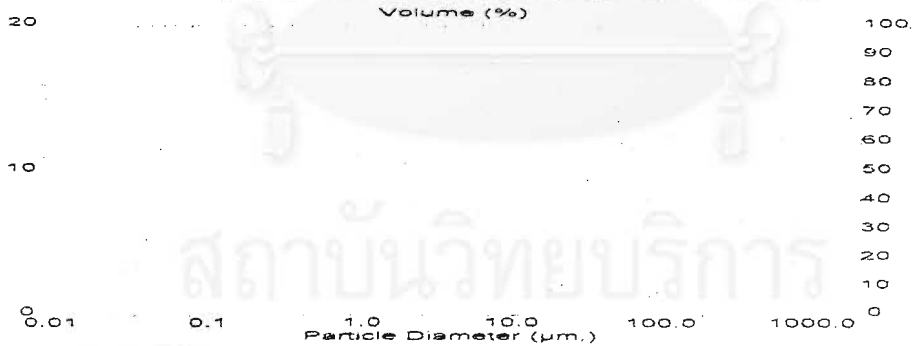
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 24	Run Number: 8	Measured: Tue Oct 8 2002 9:37AM
Sample File: POJ	Record Number: 16	Analysed: Tue Oct 8 2002 9:37AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 4.1 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = 1.4500, 0.1000]	Dispersant R.I. = 1.0000	Residual: 0.391 %
Analysis Modal: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0056 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1446 sq. m / g
Mean Diameters:	D [v, 0.1] = 27.60 um	D [v, 0.5] = 44.09 um	D [v, 0.9] = 73.22 um
D [4, 3] = 50.48 um	D [3, 2] = 41.49 um	Span = 1.035E+00	Uniformity = 3.806E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	4.40	26.20	7.72
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.06	30.53	15.78
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	12.14	35.56	27.92
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	15.24	41.43	43.16
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	16.85	48.27	59.81
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	14.26	56.23	74.07
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	10.54	65.51	84.61
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	6.97	76.32	91.58
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	4.15	88.91	95.73
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	2.09	103.58	97.82
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.72	120.67	98.54
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.54
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.54
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.54
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.10	222.28	98.64
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.36	258.95	98.99
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.45	301.68	99.45
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.37	351.46	99.82
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.18	409.45	100.00
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	0.03	12.21	0.04	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.11	14.22	0.15	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.31	16.57	0.47	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.83	19.31	1.30	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.02	22.49	3.32				





ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารทศกัณฐ์ จุฬาลงกรณ์ ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi 62, Phaya-Thai Rd. Pathumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

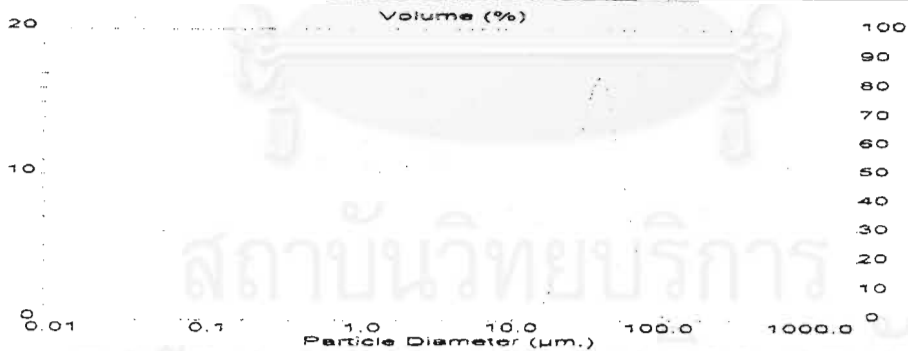
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 24	Run Number: 16	Measured: Tue Oct 8 2002 9:49AM
Sample File: POJ	Record Number: 21	Analysed: Tue Oct 8 2002 9:49AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 4.9 %
Presentation: 3RMA	(Particle R.I. = (1.4500, 0.1000):	Dispersant R.I. = 1.0000]	
Analysis Model: Polydisperse			Residual: 0.386 %
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0066 % Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1484 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 27.00 um	D (v, 0.5) = 42.73 um	D (v, 0.9) = 71.07 um
D (4, 3) = 50.04 um	D (3, 2) = 40.43 um	Span = 1.031E+00	Uniformity = 4.064E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	4.28	26.20	8.52
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.92	30.53	17.44
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	13.20	35.56	30.64
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	15.94	41.43	46.58
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	16.60	48.27	53.19
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	13.54	56.23	76.72
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.61	65.51	86.34
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	6.16	76.32	92.50
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.54	88.91	96.04
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.67	102.58	97.70
2.28	0.00	2.65	0.00	102.58	0.46	120.67	98.16
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.16
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.16
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.16
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.14	222.28	98.30
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.40	258.95	98.70
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.51	301.68	99.21
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.45	351.46	99.66
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.26	409.45	99.92
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.08	477.01	100.00
10.48	0.04	12.21	0.05	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.12	14.22	0.17	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.34	16.57	0.51	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.90	19.31	1.41	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	2.23	22.49	3.64				





ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ รอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Pathumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

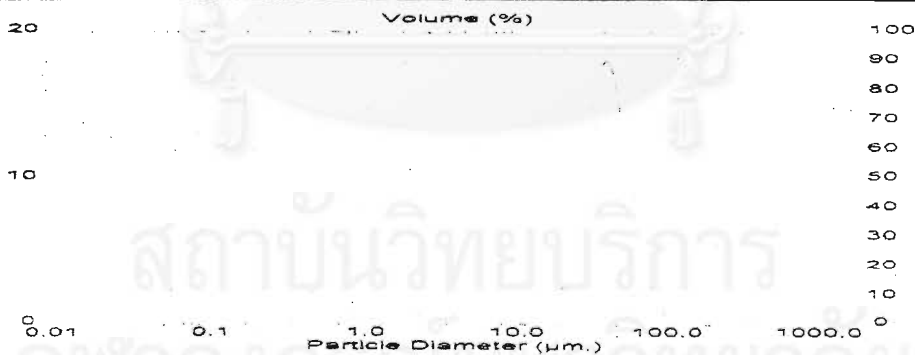
Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 226	Run Number: 7	Measured: Tue Oct 8 2002 10:36AM
Sample File: POJ	Record Number: 29	Analysed: Tue Oct 8 2002 10:36AM
Sample Path: A1		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 5.1 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = (1.4500, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.0000]	Residual: 0.422 %
Analysis Model: Polydisperec	Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0070 % Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1470 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 28.37 um	D (v, 0.5) = 42.42 um	D (v, 0.9) = 68.37 um
D [4, 3] = 48.45 um	D [3, 2] = 40.80 um	Span = 9.429E-01	Uniformity = 3.582E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under %	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under %
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	3.96	26.20	5.24
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.86	30.53	15.10
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	14.52	35.56	29.62
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	17.56	41.43	47.18
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	17.57	48.27	64.74
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	13.79	56.23	78.53
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.50	65.51	88.04
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	5.87	76.32	93.90
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.18	88.91	97.08
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.33	103.58	98.41
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.21	120.67	98.61
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.61
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.61
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.61
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.14	222.28	98.75
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.36	258.95	99.12
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.41	301.68	99.52
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.29	351.46	99.82
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.18	409.45	100.00
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	0.02	12.21	0.03	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.08	14.22	0.09	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.19	16.57	0.28	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.53	19.31	0.81	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	1.47	22.49	2.28				



Malyvern Instruments Ltd
 Malyvern, UK
 Tel: 0044 162456 Fax: 0044 162785

Malyversizer S long bed Ver 2.19
 Serial Number:

08 Oct 02 11



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารสถาน 2 จุฬาลงกรณ์ซอย 62 ถนนพญาไท ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi 62 Phaya-Thai Rd. Phatunivan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 225	Run Number: 9	Measured: Tue Oct 8 2002 10:40AM
Sample File: PQJ	Record Number: 30	Analyzed: Tue Oct 8 2002 10:40AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 5.0 %
Presentation: 3RHA	[Particle R.I. = (1.4500, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.0000]	Residual: 0.332 %
Analysis Model: Polydisperse			
Modifications: None			

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0068 %Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1477 sq. m / g
Mean Diameters:	D [v, 0.1] = 28.07 um	D [v, 0.5] = 42.06 um	D [v, 0.9] = 69.49 um
D [4, 3] = 49.59 um	D [3, 2] = 40.63 um	Span = 9.850E-01	Uniformity = 3.970E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	4.24	25.20	6.58
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	9.30	30.53	15.98
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	14.82	35.56	30.80
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	17.46	41.43	48.25
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	16.98	48.27	65.23
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	13.15	56.23	78.38
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	9.08	65.51	87.45
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	5.69	76.32	93.14
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	3.17	88.91	96.32
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	1.41	103.58	97.73
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.29	120.67	98.02
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.02
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.02
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.02
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.20	222.28	98.22
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.55	258.95	98.77
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.59	301.68	99.36
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.41	351.46	99.77
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.19	409.45	99.96
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.04	477.01	100.00
10.48	0.02	12.21	0.03	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.07	14.22	0.10	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.20	16.57	0.30	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.56	19.31	0.86	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	1.58	22.49	2.44				



Malvern Instruments Ltd
 Malvern, UK
 Tel: 0684 892456 Fax: 0684 892785

MasterSizer 5 long dec Ver. 2.15
 Serial Number:

08 Oct 02 11



ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
 อาคารสถาบัน 2 จุฬาลงกรณ์ซอย 62 ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร 2188029-32, 2188101 โทรสาร 2540211
 Scientific and Technological Research Equipment Centre Chulalongkorn University
 Building 2-3 Chula Soi-62 Phaya-Thai Rd. Phatumwan Bangkok 10330 Tel. 2188029-32, 2188101 Fax. 2540211

Result: Analysis Report

Sample Details		
Sample ID: 226	Run Number: 11	Measured: Tue Oct 8 2002 10:42AM
Sample File: POJ	Record Number: 32	Analysed: Tue Oct 8 2002 10:42AM
Sample Path: A:\		Result Source: Analysed
Sample Notes: Test by Pranee : Scientific and Technological Research Equipment Center Chulalongkorn University Dry feeder unit		

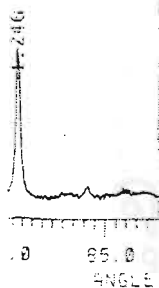
System Details			
Range Lens: 300 mm	Beam Length: 10.00 mm	Sampler: MS64	Obscuration: 5.4 %
Presentation: 3RHA	(Particle R.I. = (1.4500, 0.1000);	Dispersant R.I. = 1.0000)	Residual: 0.411 %
Analysis Model: Polydisperse	Modifications: None		

Result Statistics			
Distribution Type: Volume	Concentration = 0.0076 % Vol	Density = 1.000 g / cub. cm	Specific S.A. = 0.1430 sq. m / g
Mean Diameters:	D (v, 0.1) = 28.33 um	D (v, 0.5) = 44.01 um	D (v, 0.9) = 72.92 um
D (4, 3) = 50.23 um	D (3, 2) = 41.95 um	Span = 1.013E+00	Uniformity = 3.667E-01

Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%	Size Low (um)	In %	Size High (um)	Under%
0.49	0.00	0.58	0.00	22.49	3.86	26.20	5.27
0.58	0.00	0.67	0.00	26.20	8.10	30.53	14.37
0.67	0.00	0.78	0.00	30.53	12.91	35.56	27.28
0.78	0.00	0.91	0.00	35.56	15.98	41.43	43.26
0.91	0.00	1.06	0.00	41.43	16.82	48.27	60.08
1.06	0.00	1.24	0.00	48.27	14.15	56.23	74.23
1.24	0.00	1.44	0.00	56.23	10.52	65.51	84.75
1.44	0.00	1.68	0.00	65.51	7.02	76.32	91.76
1.68	0.00	1.95	0.00	76.32	4.17	88.91	95.93
1.95	0.00	2.28	0.00	88.91	2.08	103.58	98.01
2.28	0.00	2.65	0.00	103.58	0.71	120.67	98.72
2.65	0.00	3.09	0.00	120.67	0.00	140.58	98.72
3.09	0.00	3.60	0.00	140.58	0.00	163.77	98.72
3.60	0.00	4.19	0.00	163.77	0.00	190.80	98.72
4.19	0.00	4.88	0.00	190.80	0.10	222.28	98.82
4.88	0.00	5.69	0.00	222.28	0.32	258.95	99.14
5.69	0.00	6.63	0.00	258.95	0.38	301.68	99.53
6.63	0.00	7.72	0.00	301.68	0.29	351.46	99.81
7.72	0.00	9.00	0.00	351.46	0.19	409.45	100.00
9.00	0.01	10.48	0.01	409.45	0.00	477.01	100.00
10.48	0.02	12.21	0.03	477.01	0.00	555.71	100.00
12.21	0.07	14.22	0.10	555.71	0.00	647.41	100.00
14.22	0.21	16.57	0.30	647.41	0.00	754.23	100.00
16.57	0.57	19.31	0.87	754.23	0.00	878.67	100.00
19.31	1.53	22.49	2.41				



Measure condition	2θ (°)	d (Å)	Intensity	hkl
Sample No. 24				
Target Cu	38.96	2.430	125	5
kV 45.0 kV	38.12	2.359	205	5
mA 35.0 mA	40.06	2.249	141	4
Start angle 5.00 deg.	42.44	2.128	214	0
Stop angle 90.00 deg.	44.48	2.035	3740	100
Step angle 0.040 deg.	46.04	1.970	279	7
M. time 1.00 sec.	46.64	1.935	237	6
Operator	49.08	1.855	194	5
Name	49.52	1.840	192	5
	51.64	1.762	1329	56
	53.08	1.720	147	4
	76.48	1.246	782	19



สถาบันวิทยบริการ

ศาลากลางกรมมหาวิทยาลัย

FILE# 452612B.SM
DATE 21-OCT-1982

COUNTS

4000

2000

0

5.0

15.0

25.0

35.0

45.0

55.0

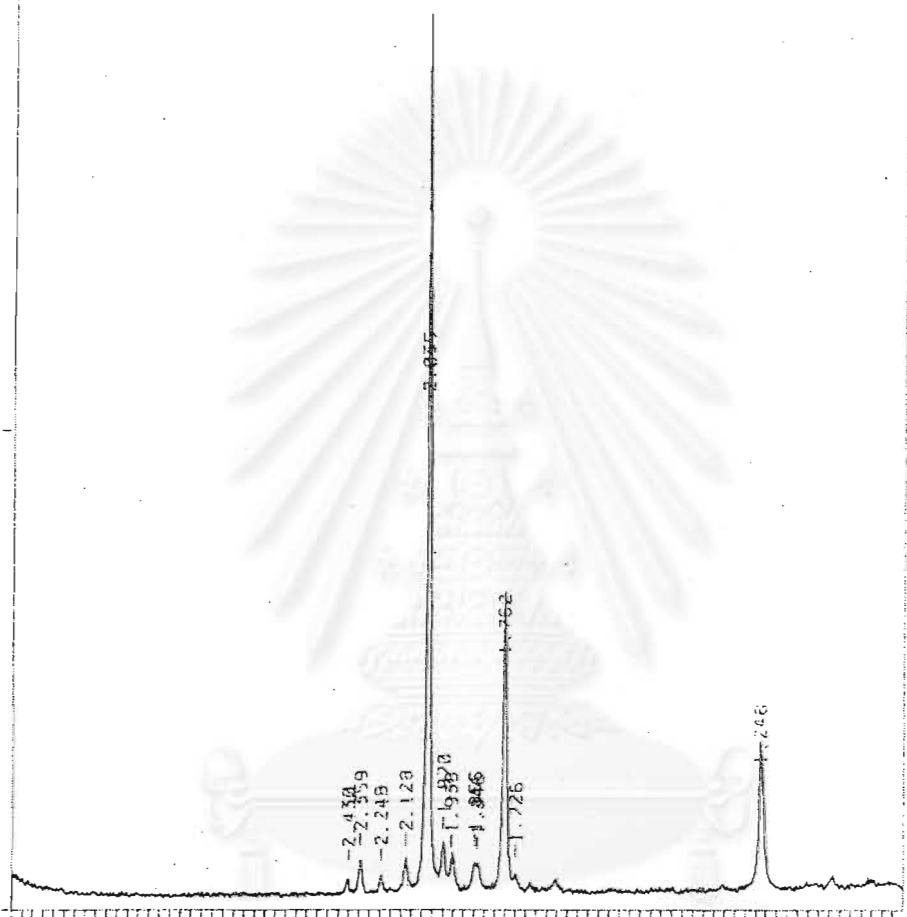
65.0

75.0

85.0

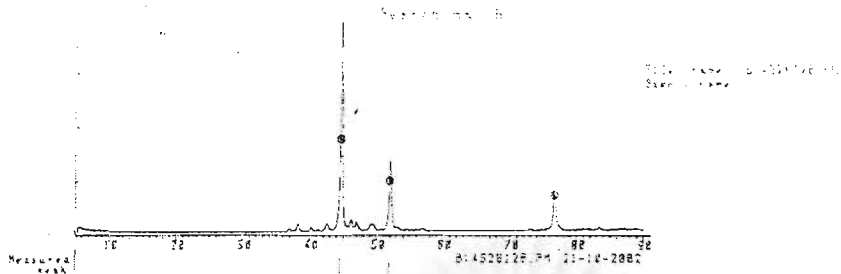
ANGLE

Mo:
Si
Fe
Ca
Al
S
O
Mg
Mn
De:
He:



สถาบันเทคโนโลยี
กราฟเทค คอร์ป CHART NO. PR-511

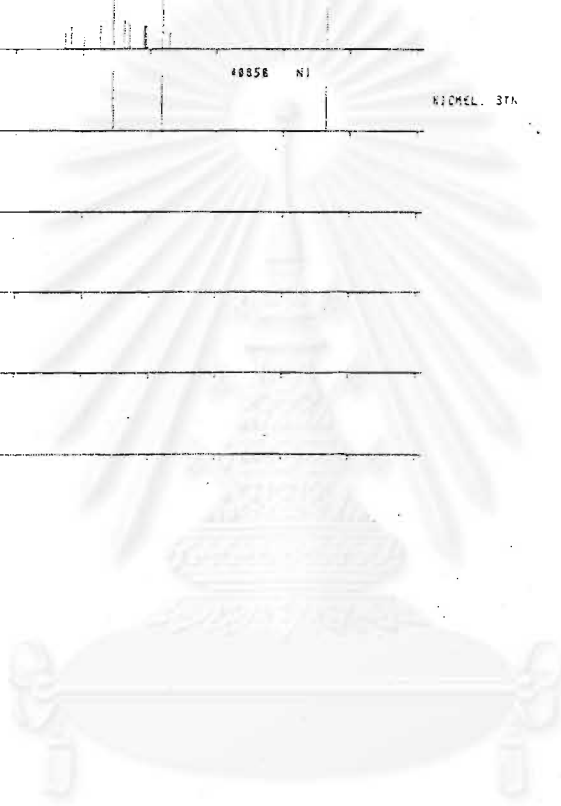
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(R)

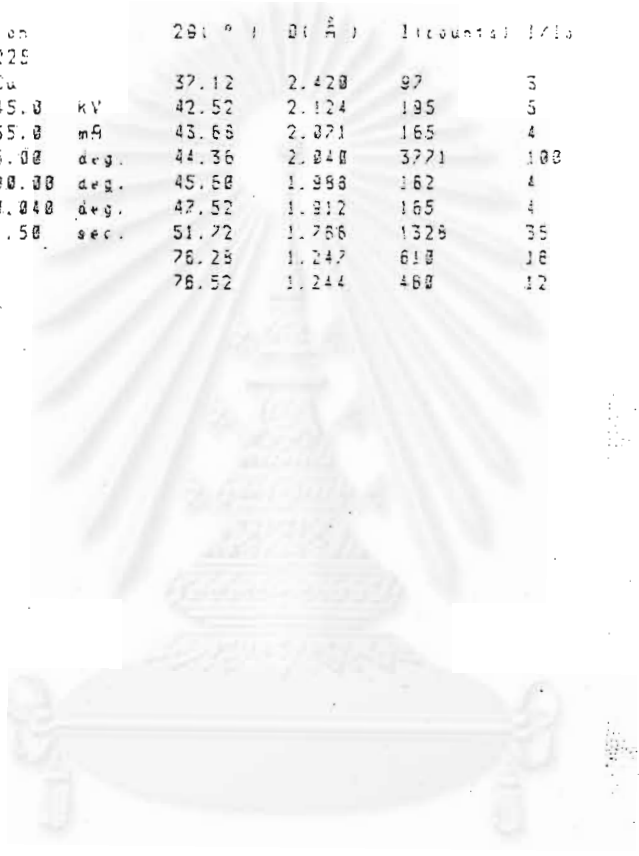
48858 Ni

NICKEL 37%



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Measure condition		2 θ (°)	d (Å)	Intensity	I/I ₀
Sample	225				
Target	Cu	37.12	2.420	97	5
kV	45.0	kV	42.52	2.124	195
mA	35.0	mA	43.68	2.071	165
Start angle	5.00 deg.	44.36	2.040	3771	100
Stop angle	90.00 deg.	45.60	1.998	162	4
Step angle	0.040 deg.	47.52	1.912	165	4
W. time	1.50 sec.	51.72	1.786	1328	35
Operator		76.28	1.247	610	16
Memo		76.52	1.244	460	12



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

55.0
ANGLE

File: 4526120.5M
Date: 21- OCT - 1982

COUNTS

4000

2000

5.0

15.0

25.0

35.0

45.0

55.0

65.0

75.0

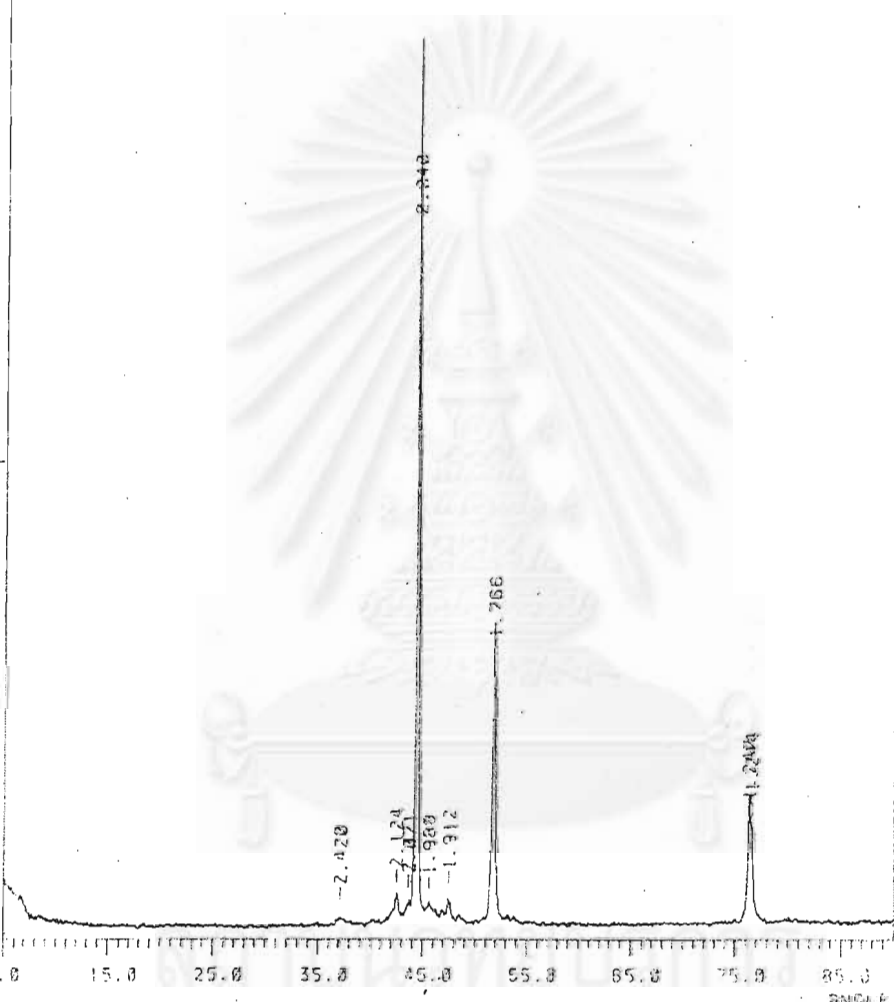
85.0

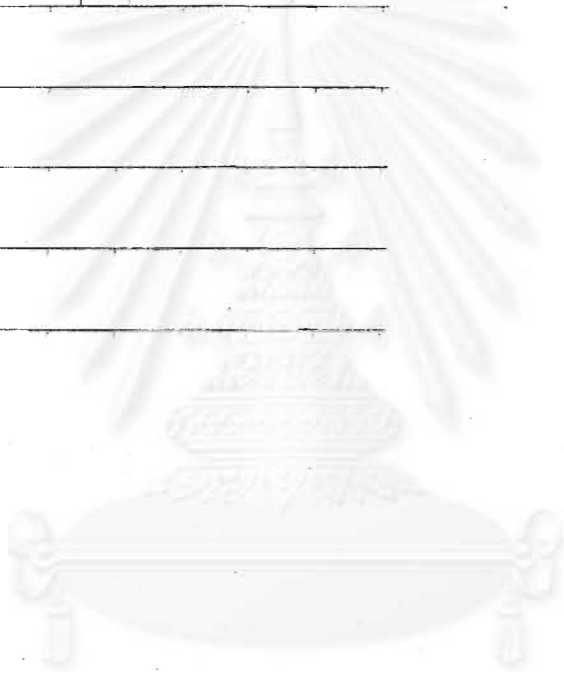
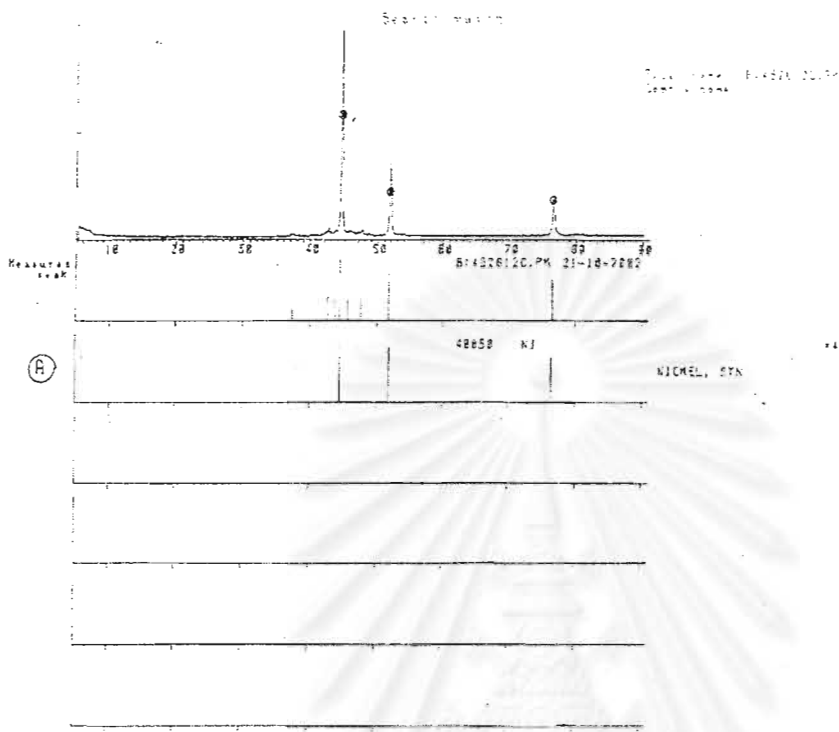
ANGLE

GRAPHTEC CORP.

CHART NO. P7-511

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Parameter	Condition	2θ (°)	d (Å)	Intensity	hkl
Sample	Ke. 22				
Target	Cu	37.92	2.571	154	4
KV	45.0 kV	39.46	2.281	113	3
mA	55.0 mA	41.60	2.159	179	5
Start angle	5.00 deg.	43.50	2.076	211	6
Stop angle	90.00 deg.	44.52	2.033	3493	100
Step angle	0.040 deg.	45.12	2.009	302	9
H. time	1.50 sec.	45.84	1.978	260	7
Operator		46.52	1.951	200	6
Mem		47.64	1.907	222	6
		49.20	1.850	156	4
		51.66	1.781	1297	37
		76.44	1.245	644	16
		76.72	1.241	422	12

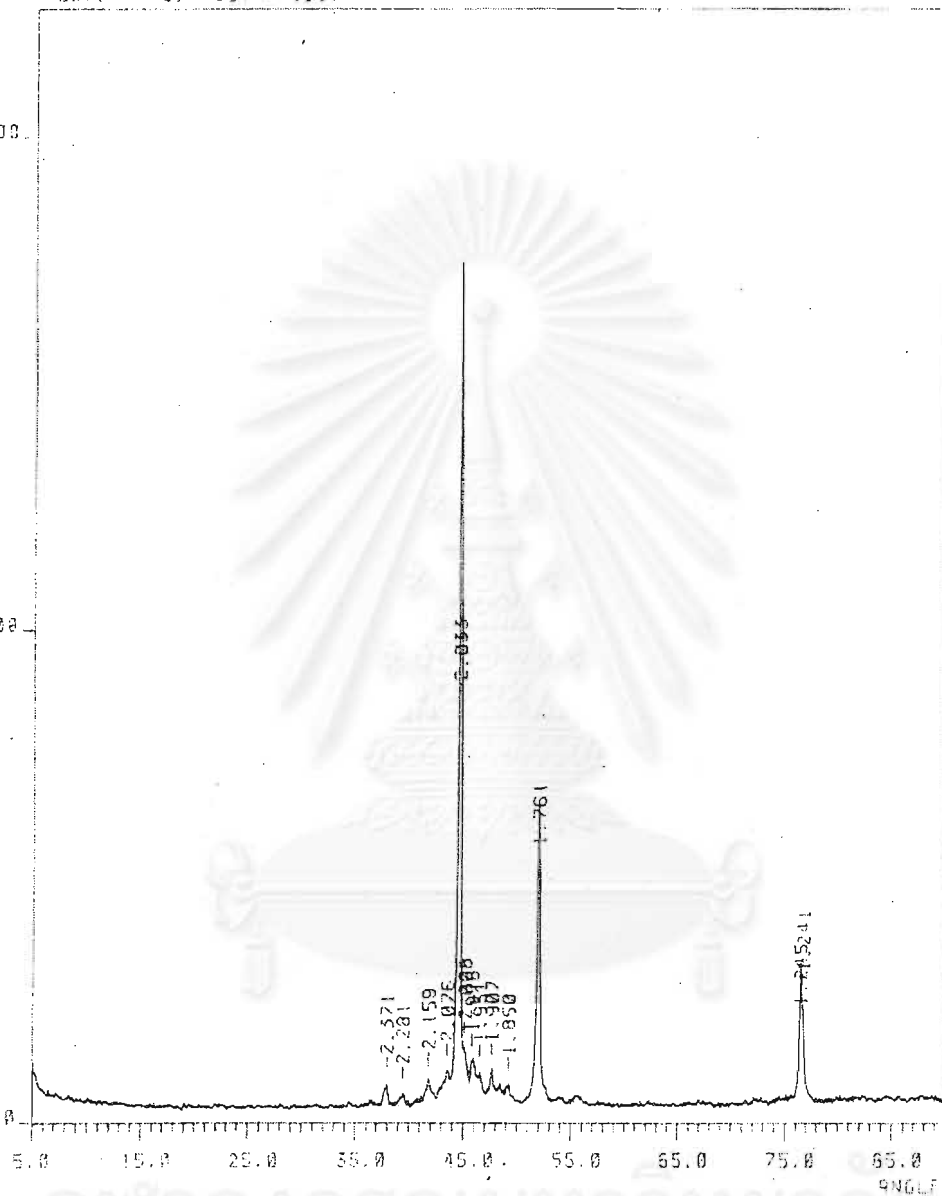
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FILE 452612A.SM
DATE 21-OCT-1987

COUNTS

4000

2000



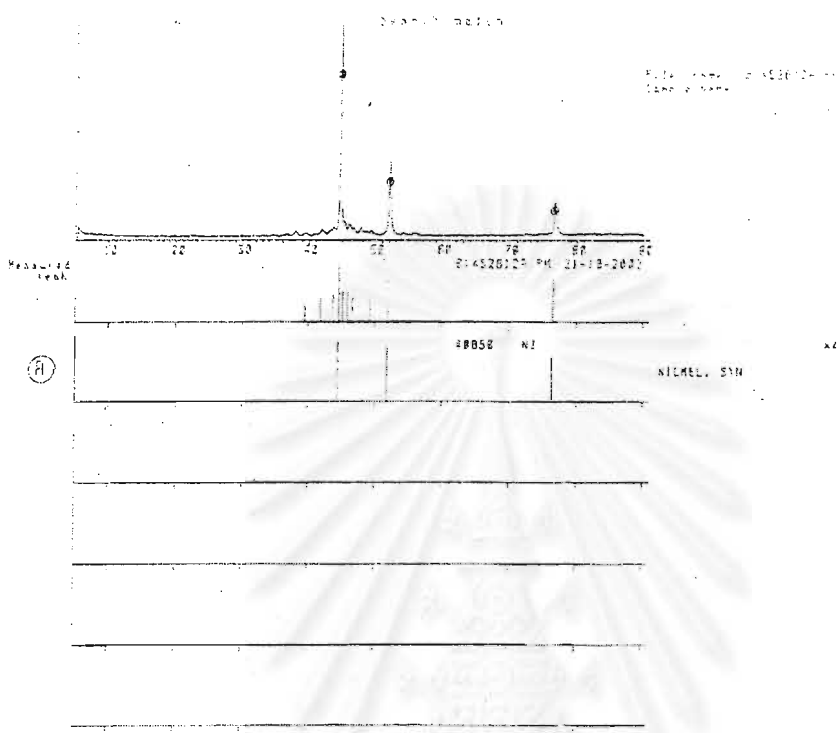
K α

0-
M-

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

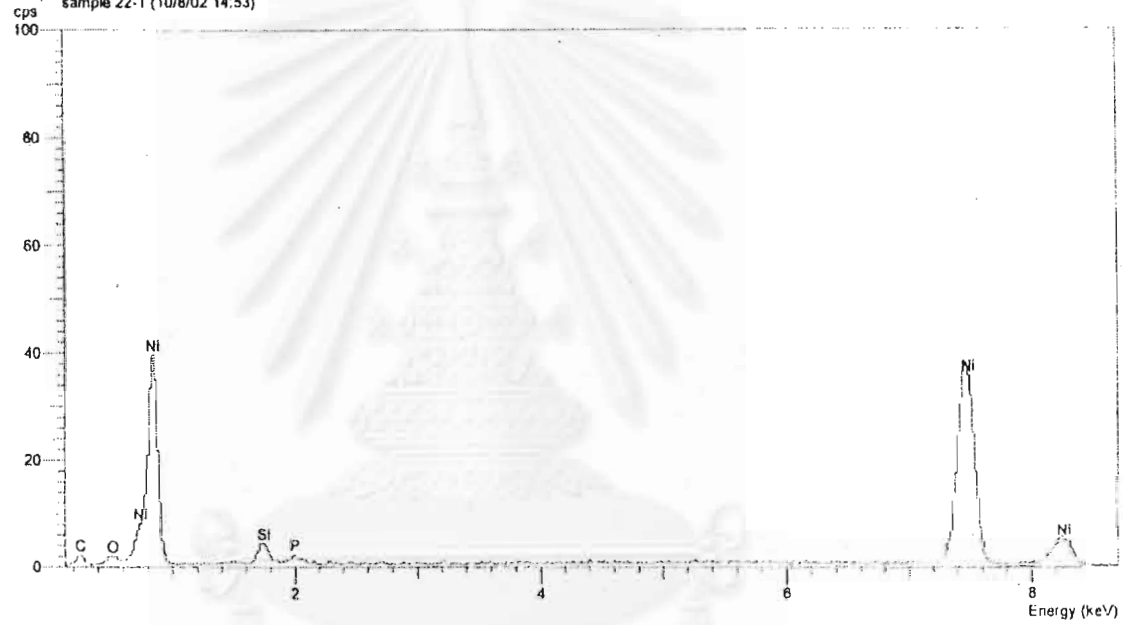
□ CORR

CHART NO PR-511



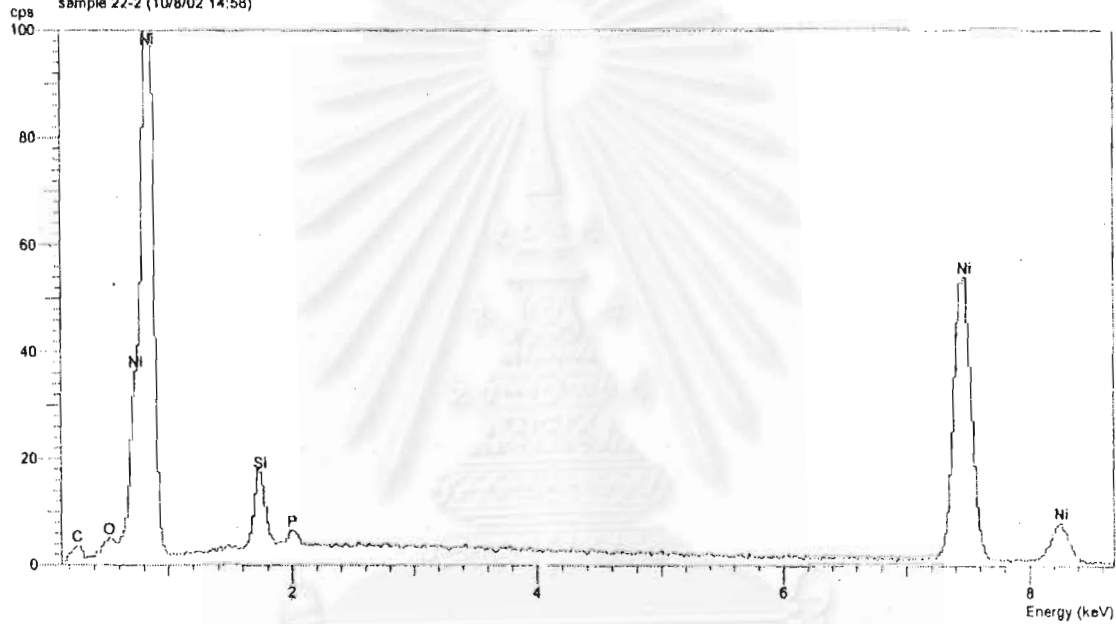
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Operator : Bang-on
Client : Poj
Job : EDX - Qualitative Analysis
sample 22-1 (10/8/02 14:53)



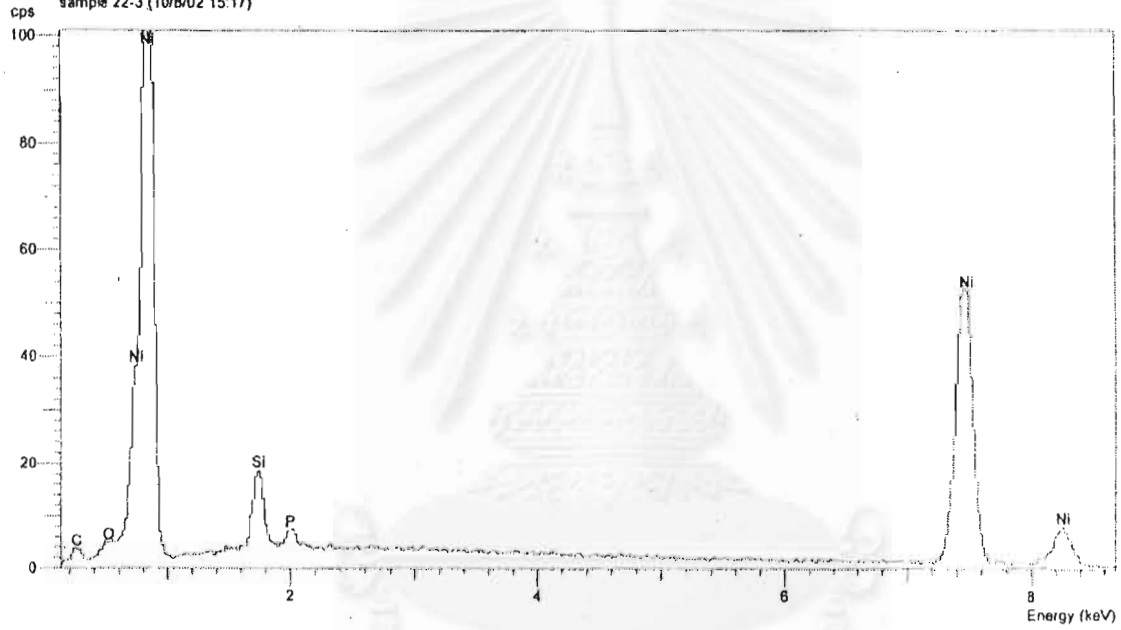
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Operator : Bang-on
Client : Poj
Job : EDX - Qualitative Analysis
sample 22-2 (10/8/02 14:58)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

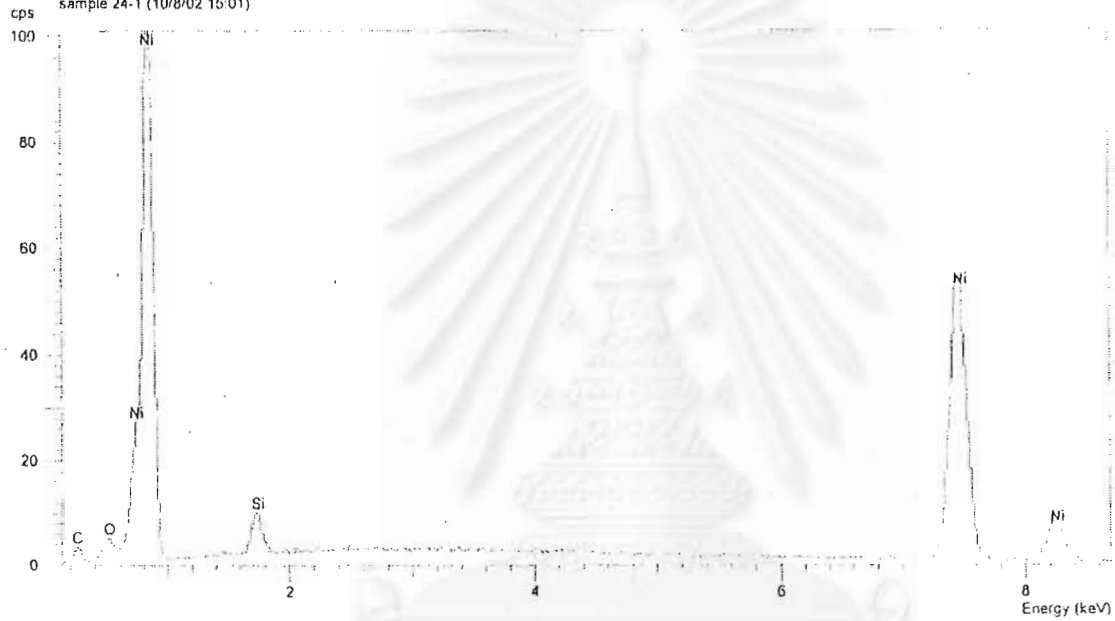
Operator : Bang-on
Client : Pcj
Job : EDX - Qualitative Analysis
sample 22-3 (10/8/02 15:17)



สถาบันวิทยบริการ

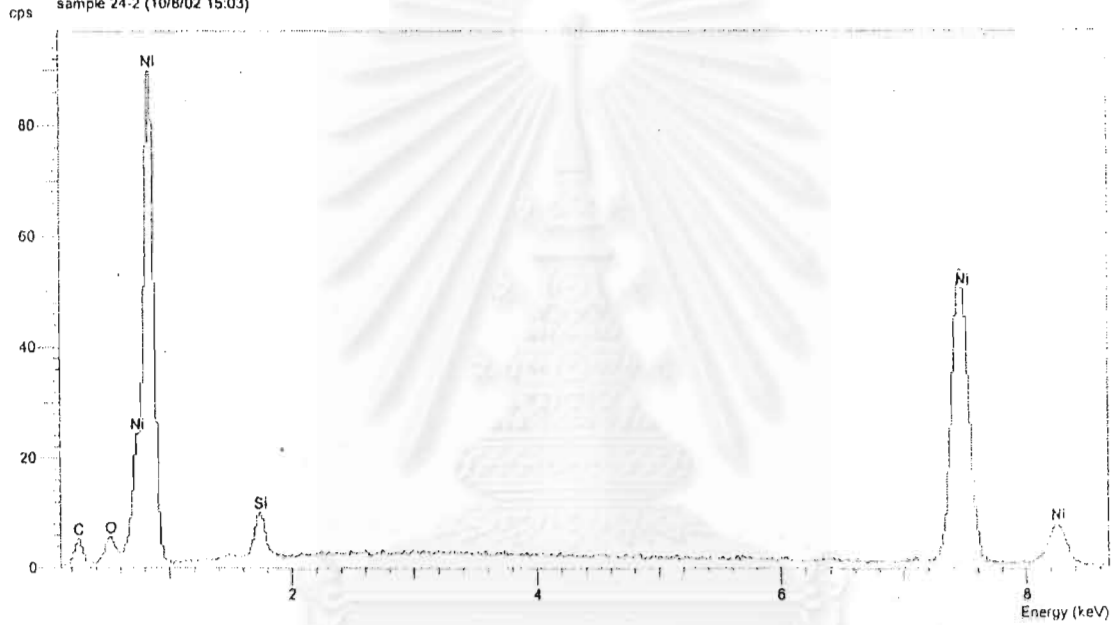
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Operator : Bang-on
Client : P.oj
Job : EDX - Qualitative Analysis
sample 24-1 (10/8/02 15:01)



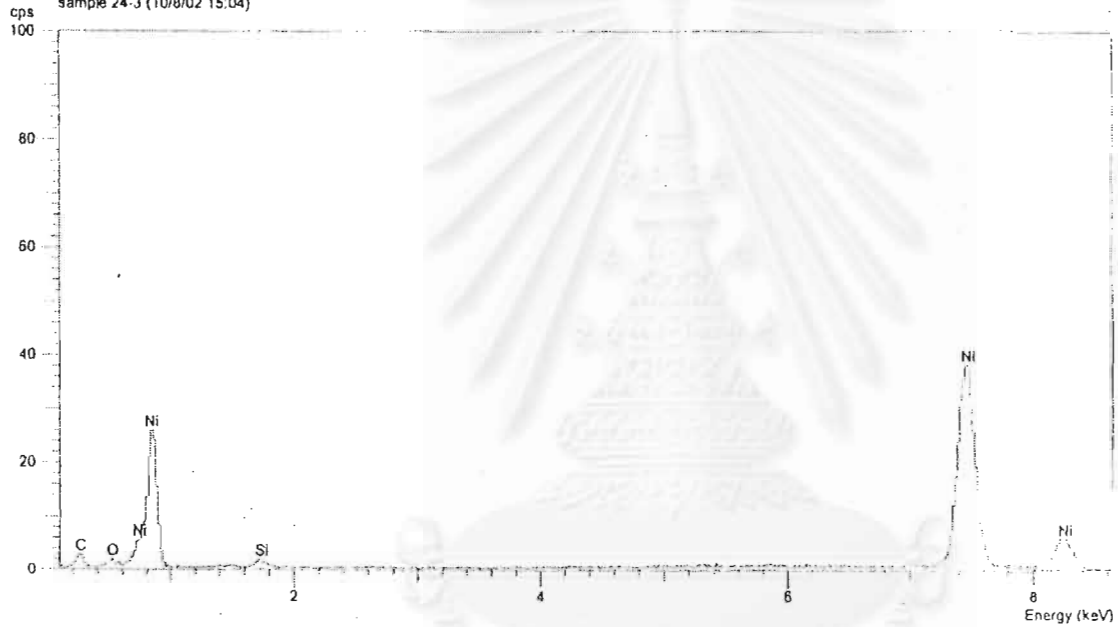
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Operator : Bang-on
Client : Pcj
Job : EDX - Qualitative Analysis
sample 24-2 (10/8/02 15.03)



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Operator : Bang-on
Client : Paj
Job : EDX - Qualitative Analysis
sample 24-3 (10/8/02 15.04)



สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

รายละเอียดเอกสารผนวกเชื่อม A B และ C



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MATERIAL SAFETY DATA SHEET



Wall Colmonoy Corporation
 30261 Stephenson Hwy.
 Madison Heights, Michigan 48071-1650
 Phone: 248-585-6400 FAX: 248-585-7960

This sheet has been designed to meet the requirements of OSHA Hazard Communication Standard 29 CFR 1910.1200 and OSHA Form 174.

Section I. Identity:

Product Name: COLMONOY No. 21, 22, 23A and 24 Fuseweld Powder
MSDS Date: January 10, 2000 Page 1 of 3

Section II. Ingredients/Identity Information:

<u>COMPONENT</u>	<u>CAS No.</u>	<u>OSHA PEL</u>	<u>ACGIH TLV</u>	<u>Percent</u>
Nickel	7440-02-0	1 mg/m ³	1.5 mg/m ³	balance
Carbon	7440-44-0	None	10 mg/m ³	1-1
Chromium	7440-47-3	1 mg/m ³	0.5 mg/m ³	1-5
Iron	7439-89-6	10 mg/m ³	10 mg/m ³	5-1
Silicon	7440-21-3	10 mg/m ³	10 mg/m ³	2-4
Boron	7440-42-8	None	None	1-2

Section III. Physical/Chemical Characteristics

Boiling Point: Not applicable
Specific Gravity: #21=8.34, 22=8.40, 23A and 24 = 8.60
Melting Point: #21=2050°F, 22=1925°F, 23A and 24 = 1950°F
Evaporation Rate: Not applicable
Vapor Pressure: Not applicable
Vapor Density: Not applicable
Solubility: Not water soluble
Appearance and odor: Dark grey metallic powder. No distinct odor.

Section IV: Fire and Explosion Data

Flash Point and Method Used: None
Extinguishing Media: Do not use water on metal fires, use dry chemical, dry sand or CO₂ to smother fire.
Special Fire-Fighting Procedures: Do not breathe fumes. For large fires involving this material, fire fighters should wear self contained breathing apparatus.
Unusual Fire and Explosion Hazards: Fires or explosions may be initiated by exposing any concentrated dust suspension in an enclosed area to a spark or flame. Do not allow dust accumulation from welding, grinding or machining processes.

Section V. Reactivity Data**Stability:** This product is stable.**Conditions to Avoid:** Under special conditions, Nickel can react with carbon monoxide in reducing atmospheres to form Ni (CO)₄.**Incompatibility:** Acids, strong oxidizing agents.**Hazardous Decomposition or Byproducts:** During the welding process, one or more of the following fumes may be produced, in the following order: iron oxide, nickel oxide, chromium oxide.**Hazardous Polymerization:** Will not occur.**Section VI. Health Hazard Data****Expected Route of Entry:** Inhalation of fumes when heated would be main route of exposure. Dust can be created if grinding or machining parts after welding.**Health Hazards (Acute and Chronic):** Chronic inhalation of dust or fumes may cause upper respiratory irritation. Repeated handling of powder can cause skin rash (dermatitis) in people sensitive to nickel or chromium.**Carcinogens:** The National Toxicology Program (NTP) lists chromium as a known carcinogen. NTP indicates that nickel and certain nickel compounds may reasonably be anticipated to be carcinogens. IARC lists chromium as carcinogenic to humans and nickel as possibly carcinogenic to humans.**Signs and Symptoms of Exposure:** Respiratory--sneezing, coughing. Skin contact: rash.**Medical Conditions that May be Aggravated:** Allergies**Emergency and First Aid Procedures:** **Inhalation:** Remove to fresh air. **Skin contact:** wash thoroughly with mild soap and water. **Eyes:** flush with water until clear of particles. **Ingestion:** not likely to occur if any significant amount. If symptoms persist after any route of exposure, seek medical attention.**Section VII. Precautions for Safe Handling and Use****Procedure in Case of Spill:** Take up by method that will not create airborne particles, such as wet sweeping or vacuuming with HEPA filter. Save in labeled container for re-use or disposal.**Waste Disposal Method:** Normally reclaimed for scrap metal values. If disposal is necessary, follow rules for regulated waste of this nature.**Precautions for Handling or Storing:** Keep away from strong oxidizers. Avoid repeated handling. Do not eat or smoke in areas of use.**Section VIII. Control Measures****Respiratory Protection:** If exposure limits are exceeded wear NIOSH approved respirator giving fume protection. If grinding after welding, dust mask should be worn.**Recommended ventilation:** Local exhaust needed for welding.**Gloves:** As required for welding. **Eye Protection:** Shaded lenses appropriate for welding process being used. If grinding after welding, safety goggles or face shield should be worn.**Other:** Wear clean work clothing that is laundered separately.

Product Name: Colmonoy No. 21, 22, 23A and 24

Page 3 of 3

General Health and Safety Warning: THE FOLLOWING IS A PRECAUTIONARY STATEMENT THAT APPLIES TO ALL WELDING/BRAZING PRODUCTS; keep your head out of the fumes. Use enough ventilation, exhaust at work, or both, to keep fumes and gases from your breathing zone. Heat rays (infrared radiation from flame or hot metal) can injure eyes. Wear correct eye, ear and body protection. Before use, read, understand and follow the manufacturers instructions, the material safety data sheet and your employer's safety practices. See American National Standard Z49.1, "Safety in Welding & Cutting" published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126 and OSHA 29 CFR 1910 available from the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, P.O. Box 371954, Pittsburgh, PA 15250.

DOT Shipping Information: This product is not regulated for shipping.

HMIS Numbers:

Health: 1

Flammability: 0

Reactivity: 1

SARA Title III and Canadian Ingredient Disclosure List Information:

The following materials are subject to the reporting requirements of Section 313 of Title III of the Superfund Amendments & reauthorization Act of 1986 and 40 CFR Part 372. They also appear on the Canadian Ingredient Disclosure List:
Nickel and Chromium

State Warning Information:

California: This product contains a chemical known to the state of California to cause cancer.

New Jersey: This product contains the following materials listed on the New Jersey Right-To-Know Hazardous Substances List:

Substance 0432, chromium,	CAS 7440-47-3,	DOT No. None
Substance 1341, nickel,	CAS 7440-02-0,	DOT No. None

Toxic Substances Control Act Certification:

This product complies with all applicable rules or orders under TSCA.

รูป ผ-ท-1(ต่อ) แสดงข้อมูลทางเทคนิคของผงเชื่อม Colmonoy No.22(A) และ Colmonoy No.24 (B)

MATERIAL SAFETY DATA SHEET



Wall Colmonoy Corporation
 30261 Stephenson Hwy.
 Madison Heights, Michigan 48071-1650
 Phone: 248-585-6400 FAX: 248-585-7960

This sheet has been designed to meet the requirements of OSHA Hazard Communication Standard 29 CFR 1910.1200 and OSHA Form 174.

Section I. Identity:

Product Name: COLMONOY ALLOYS 225, 226, 227 and 228

MSDS Date: October 26, 1999

Page 1 of 3

Section II. Ingredients/Identity Information:

<u>COMPONENT</u>	<u>CAS No.</u>	<u>OSHA PEL</u>	<u>ACGIH TLV</u>	<u>Percent</u>
Nickel	7440-02-0	1 mg/m ³	1.5 mg/m ³	80-95
Boron	7440-42-8	None	None	
Silicon	7440-21-3	10 mg/m ³	10 mg/m ³	
Inert Material	Trade Secret	None	None	

Section III. Physical/Chemical Characteristics

Boiling Point:	Not applicable
Specific Gravity (H₂O=1):	8.5
Melting Point:	2330-2380°F
Evaporate Rate:	Not applicable
Vapor Pressure:	Not applicable
Vapor Density:	Not applicable
Solubility:	Not water soluble
Appearance and Odor:	Silver/grey metallic powder, no distinct odor.

Section IV: Fire and Explosion Data

Flash Point and Method Used: None

Extinguishing Media: Do not use water on metal fires, use dry chemical, dry sand or CO₂ to smother fire.

Special Fire-Fighting Procedures: Do not breathe fumes. For large fires involving this material, fire fighters should wear self contained breathing apparatus.

Unusual Fire and Explosion Hazards: Fires or explosions may be initiated by exposing any concentrated dust suspension in an enclosed area to a spark or flame.

รูป ผ-ข-2 แสดงข้อมูลทางเทคนิคของผงเชื่อม Colmonoy No.225(C)

Section V. Reactivity Data

Stability: This product is stable.

Conditions to Avoid: Under special conditions, Nickel can react with carbon monoxide in reducing atmospheres to form Ni (CO)₄.

Incompatibility: Acids, strong oxidizing agents.

Hazardous Decomposition or Byproducts: During the spraying or heating process, nickel-oxide fumes can be produced.

Hazardous Polymerization: Will not occur.

Section VI. Health Hazard Data

Expected Route of Entry: Inhalation of dust or fumes (if heated) would be main route of exposure.

Health Hazards (Acute and Chronic): Chronic inhalation of dust or fumes may cause upper respiratory irritation. Repeated handling of powder can cause skin rash (dermatitis) in people sensitive to nickel.

Carcinogens: The National Toxicology Program (NTP) indicates that nickel and certain nickel compounds may reasonably be anticipated to be carcinogens. IARC lists nickel as possibly carcinogenic to humans.

Signs and Symptoms of Exposure: Respiratory--sneezing, coughing. Skin contact: rash.

Medical Conditions that May be Aggravated: Allergies

Emergency and First Aid Procedures: **Inhalation:** Remove to fresh air. **Skin contact:** wash thoroughly with mild soap and water. **Eyes:** flush with water until clear of particles. **Ingestion:** If large amount, induce vomiting. If symptoms persist after any route of exposure, seek medical attention.

Section VII. Precautions for Safe Handling and Use

Procedure in Case of Spill: Vacuum with HEPA filter or damp sweep so as not to create airborne dust.

Waste Disposal Method: Normally reclaimed for scrap metal values. If disposal is necessary, follow rules for regulated waste of this nature.

Precautions for Handling or Storing: Keep away from strong oxidizers. Avoid creating airborne dust, avoid repeated handling, do not shake clothing or rags to remove dust. Do not eat or smoke in areas of use.

Section VIII. Control Measures

Respiratory Protection: If exposure limits are exceeded wear NIOSH approved dust/mist respirator. Follow OSHA Respiratory Protection Plan, 29 CFR 1910.134

Recommended ventilation: Local exhaust needed if spraying. Spraying should be done in a spray booth with dust collection system.

Gloves: Skin barrier cream or work gloves recommended.

Eye Protection: Shaded protective lenses suitable for spraying application being performed.

Other: Wear clean work clothing that is laundered separately.

Product Name: Colmonoy 225, 226, 227, and 228

Page 3 of 3

General Health and Safety Warning: THE FOLLOWING IS A PRECAUTIONARY STATEMENT THAT APPLIES TO ALL WELDING/BRAZING PRODUCTS; keep your head out of the fumes. Use enough ventilation, exhaust at work, or both, to keep fumes and gases from your breathing zone. Heat rays (infrared radiation from flame or hot metal) can injure eyes. Wear correct eye, ear and body protection. Before use, read, understand and follow the manufacturers instructions, the material safety data sheet and your employer's safety practices. See American National Standard Z49.1, "Safety in Welding & Cutting" published by the American Welding Society, 550 N.W. LeJeune Road, Miami, FL 33126 and OSHA 29 CFR 1910 available from the Superintendent of Documents, U.S. Government Printing Office, Washington D.C. 20402.

DOT Shipping Information: This product is not regulated for shipping.

HMIS Numbers:

Health: 2 Flammability: 0 Reactivity: 1

SARA Title III and Canadian Ingredient Disclosure List Information:

The following materials are subject to the reporting requirements of Section 313 of Title III of the Superfund Amendments & reauthorization Act of 1986 and 40 CFR Part 372. They also appear on the Canadian Ingredient Disclosure List: Nickel and Chromium.

State Warning Information:

California: This product contains a chemical known to the state of California to cause cancer.

New Jersey: This product contains the following materials listed on the New Jersey Right-To-Know Hazardous Substances List:
Substance 1341, nickel, CAS 7440-02-0, DOT No. None

Toxic Substances Control Act Certification:

This product complies with all applicable rules or orders under TSCA.

รูป ผ-ข-2 (ต่อ)แสดงข้อมูลทางเทคนิคของผงเชื่อม Colmonoy No.225(C)

BEST PRACTICE
ACI MOULD MATERIAL SPECIFICATIONS MANUAL

AUTHORISED BY	<i>[Signature]</i>
	<i>Kerry K. G. Howse</i>

REV: 00 ISSUE DATE: 27/3/97
**MATERIAL TYPE: MT-BZ-01
ACI SILICON BRONZE**

CHEMICAL COMPOSITION:	Target (%)	Range (%)
• Nickel	15.00	±1.00
• Aluminium	9.50	±0.50
• Zinc	8.50	±1.00
• Silicon	1.00	±0.10
• Iron	0.90	±0.10
• Manganese	0.10	±0.05
• Tin	0.00	+0.10
• Lead	0.00	+0.15
• Phosphorus	0.00	+0.15
• Sulphur	0.00	+0.02
• Copper	Balance	
HARDNESS	BHN220	±10

Refer to Appendixes for Compositional Influences

END

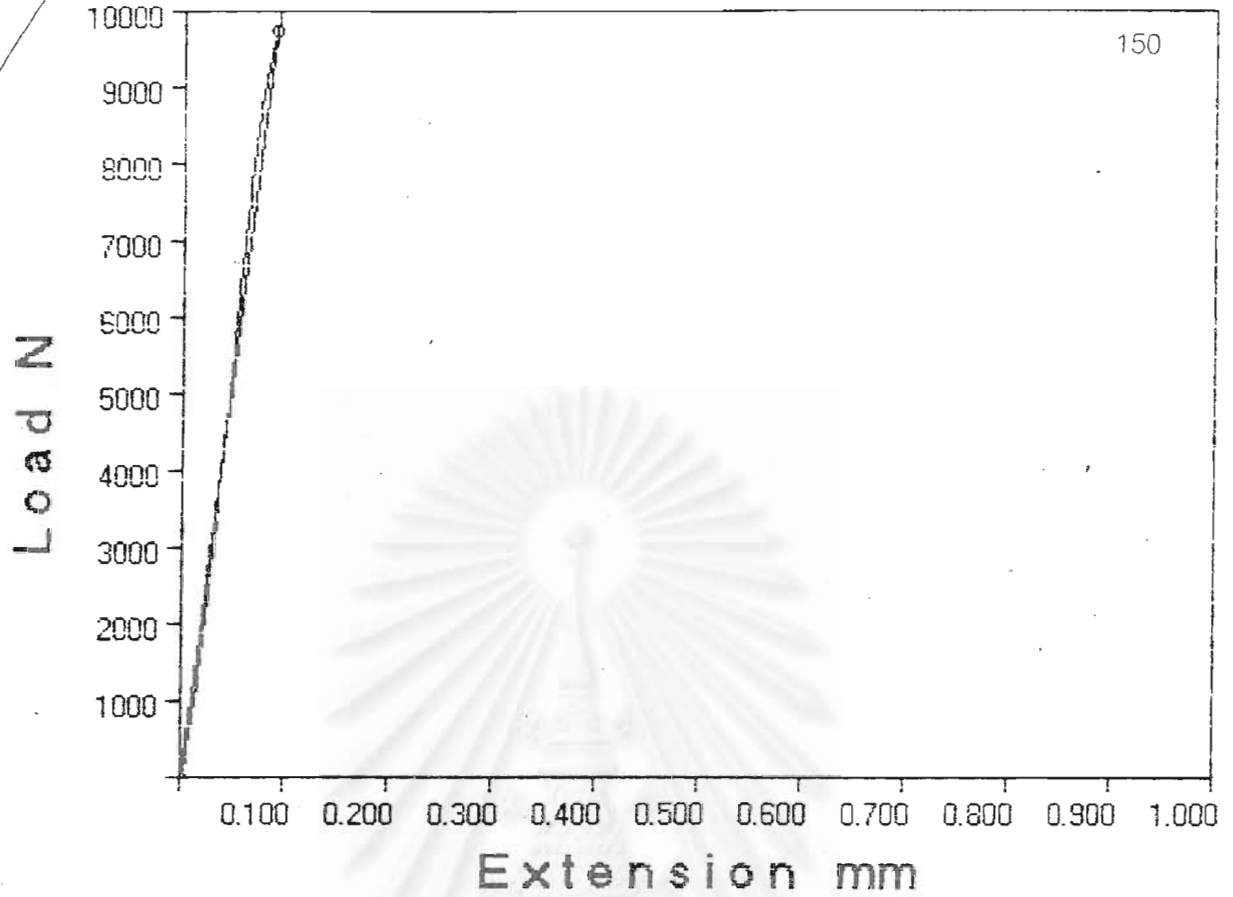
COPYRIGHT RESERVED. NOT TO BE COPIED IN WHOLE OR PART WITHOUT WRITTEN PERMISSION FROM ACI GLASS PACKAGING

ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบแรงดึงของผงเชื่อม A B และ C



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



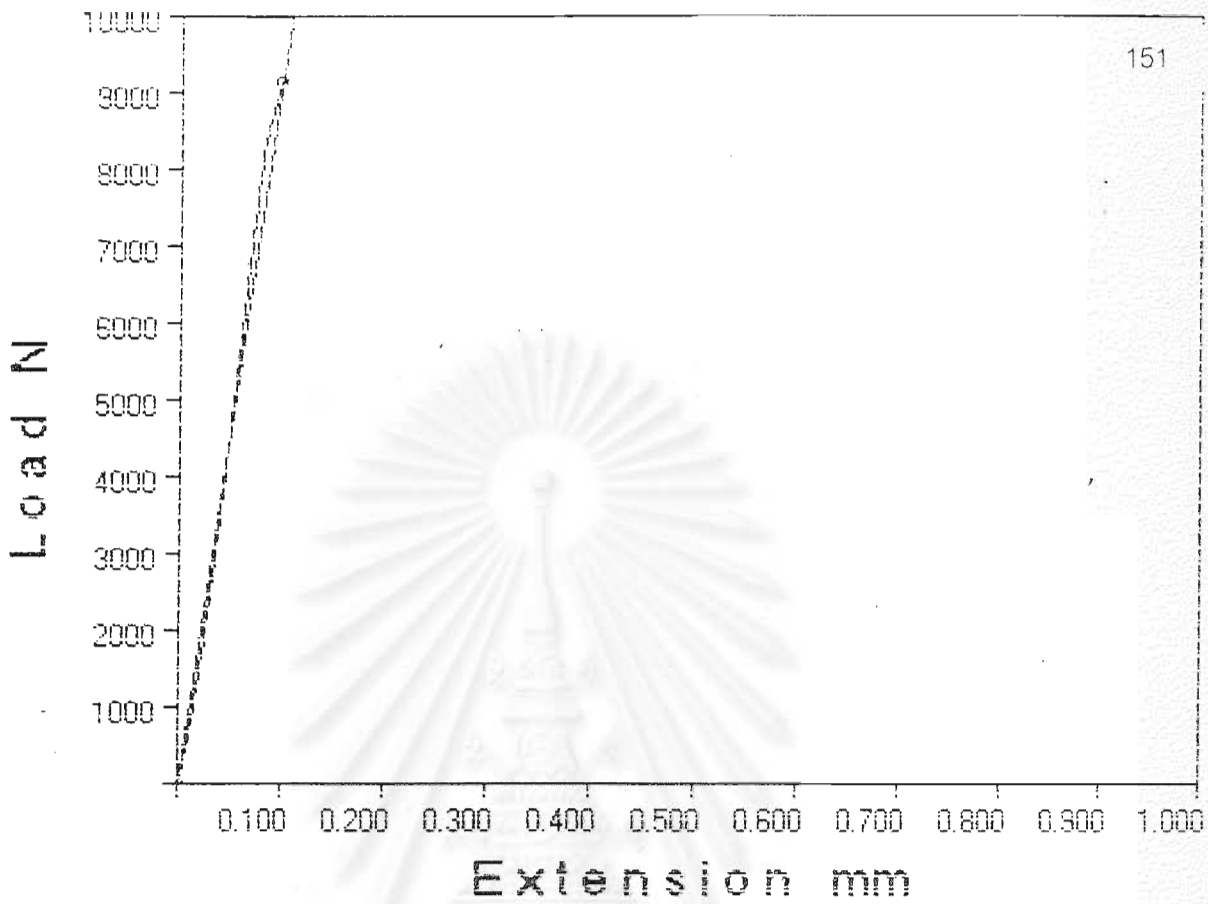
225@500.1 - 1

E-Modulus
MPa

1 83534

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

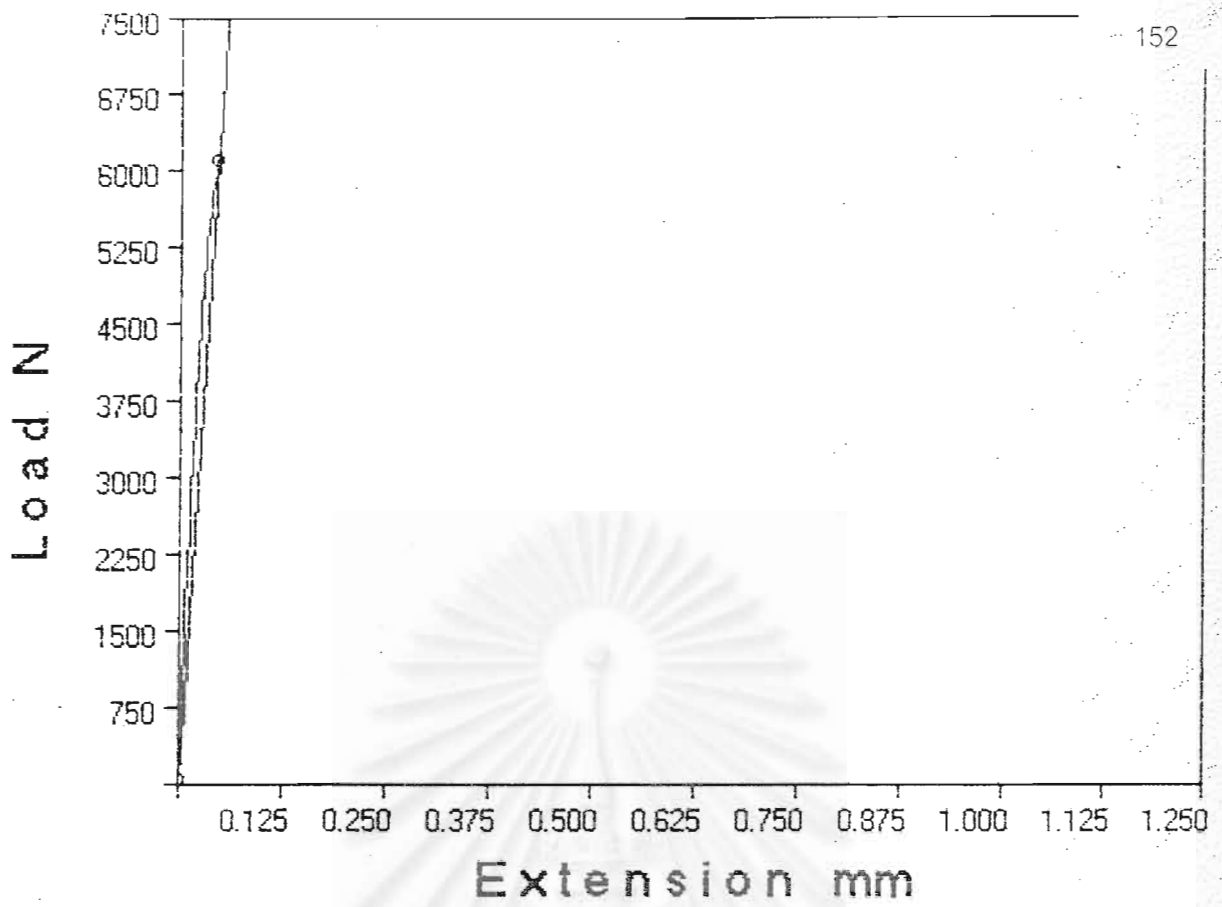


225@500.2 - 1

E-Modulus
MPa

1 72784

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



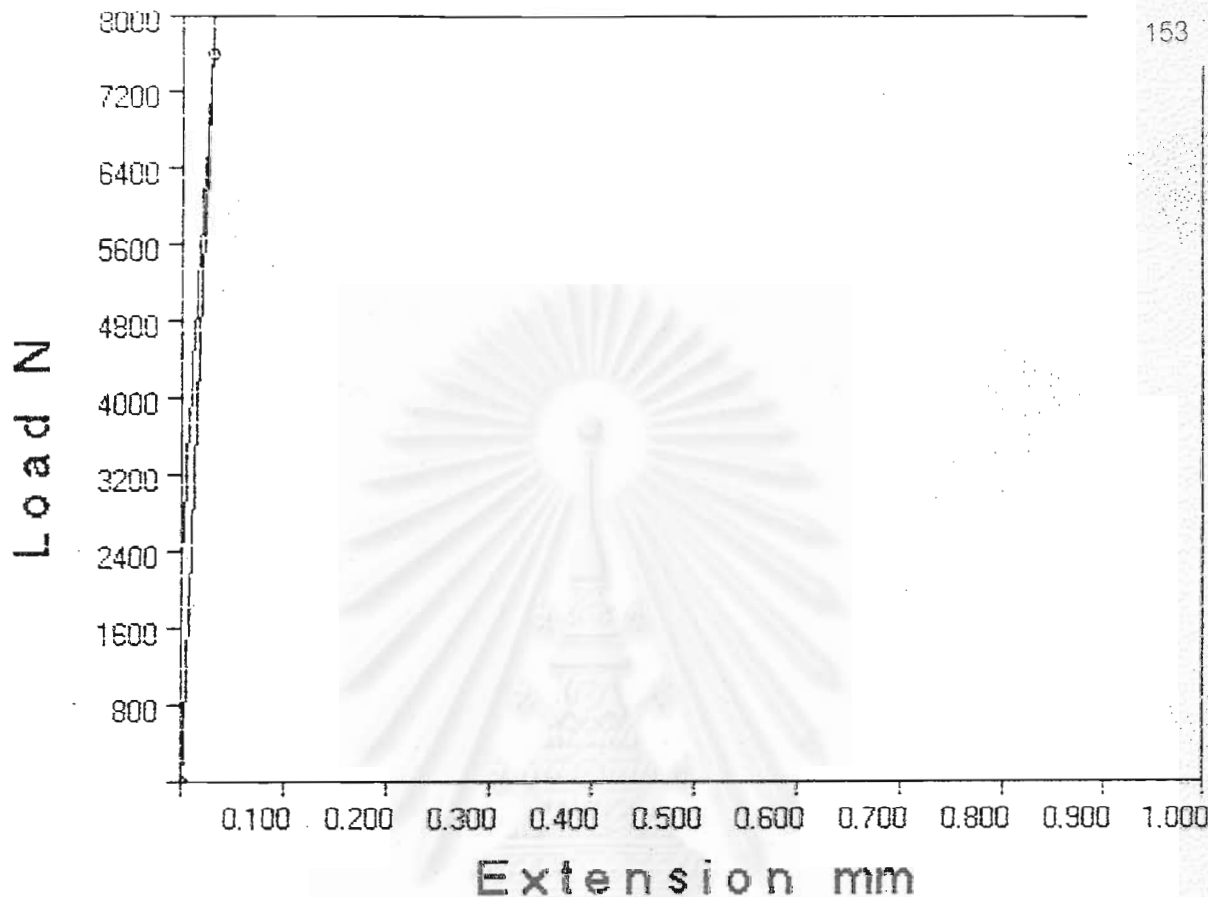
225@500.4 - 1

E-Modulus
MPa

1 105208

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



225@500.2 - 1

E-Modulus
MPa
1 1048276

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

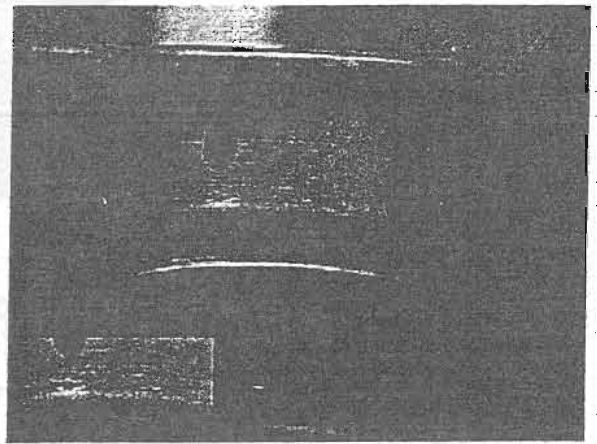
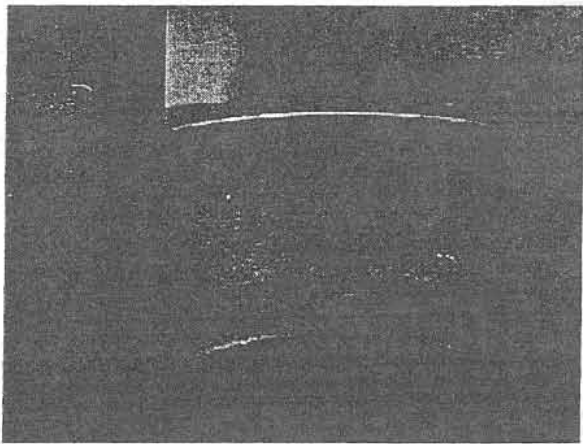
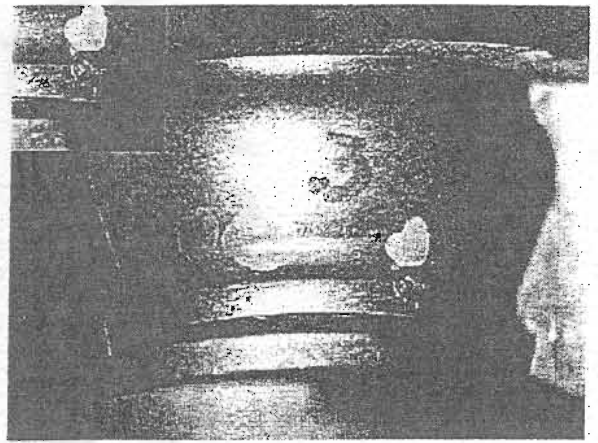
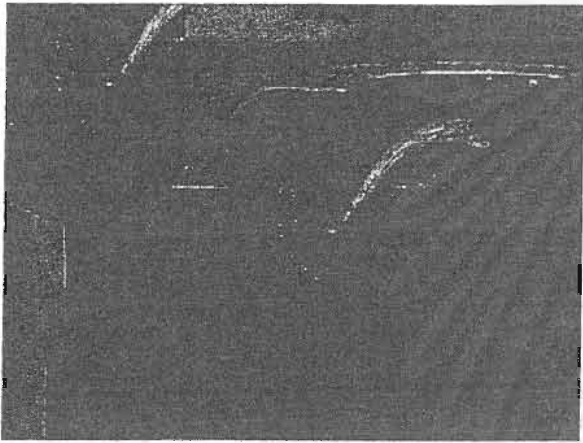
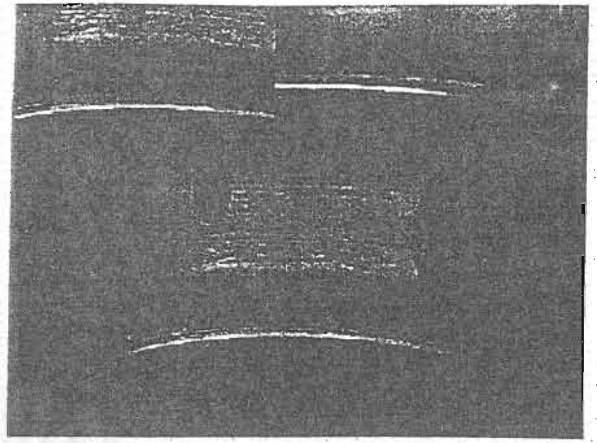
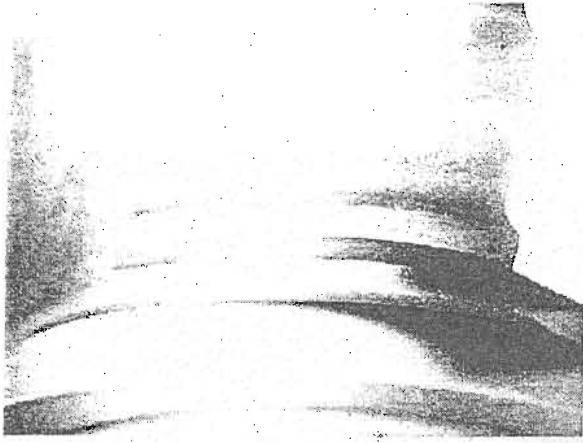
ภาคผนวก ง

รวมรูปแสดงการเสียหายของแม่พิมพ์ขึ้นรูปปากที่ผ่านการเชื่อมซ่อม

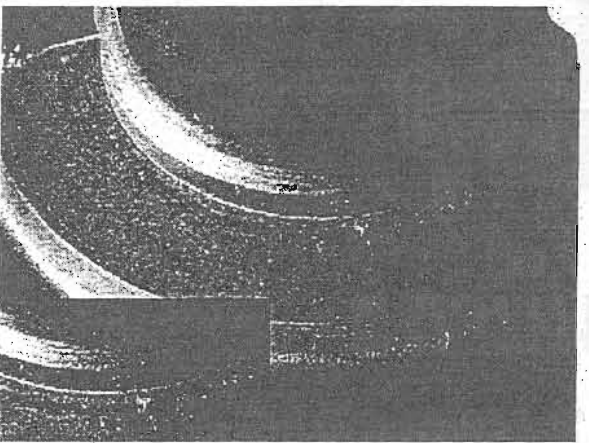
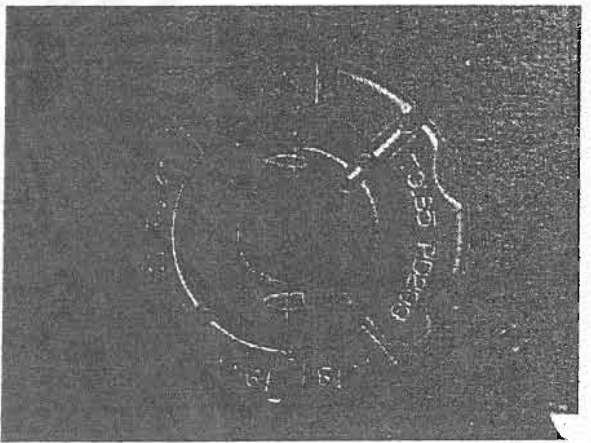
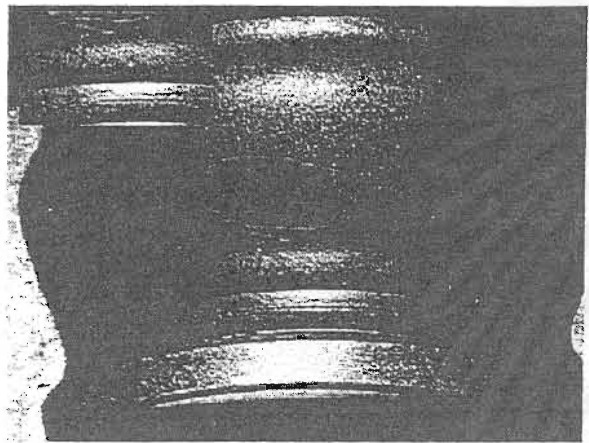
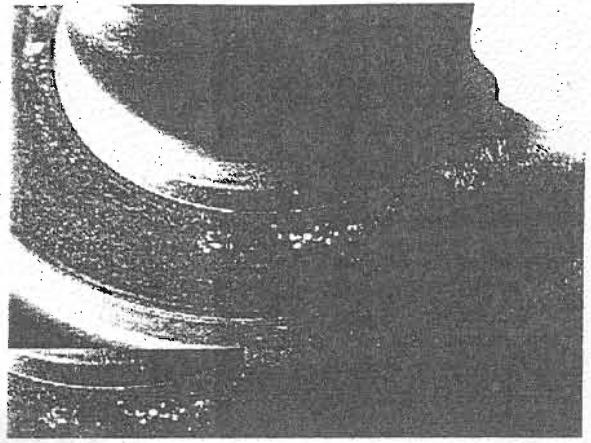
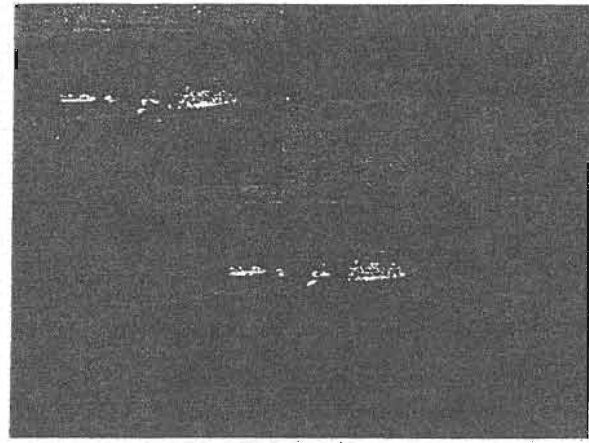


สถาบันวิทยบริการ

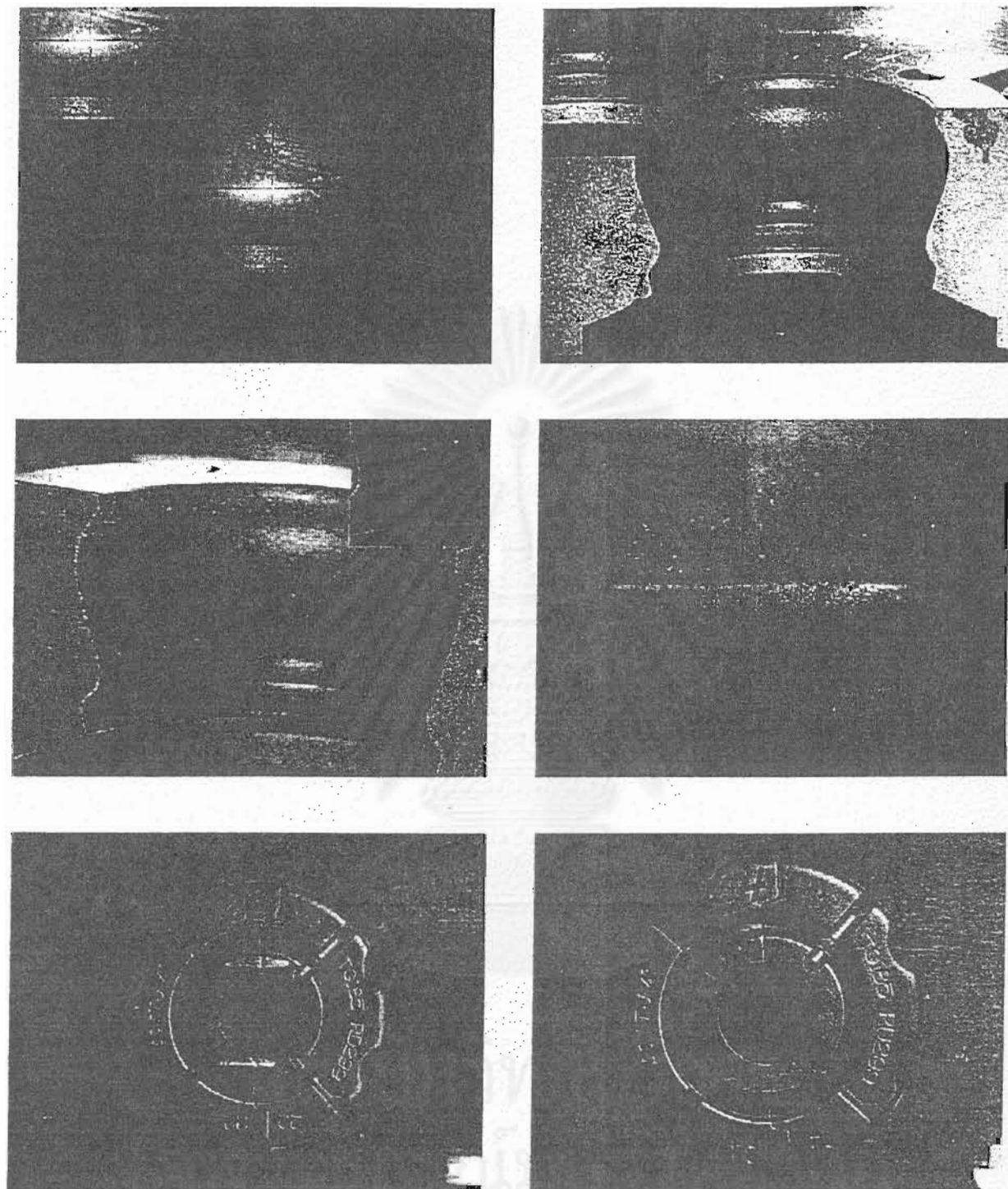
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูป ง-1 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์เชื่อมผง A ที่ 400 องศา โดยจะเป็น
พرونบริเวณรอยต่อของรอยเชื่อม



รูป ง-2 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์เชื่อมผง B ที่ 400 องศา โดยจะเป็น
พرونบริเวณรอยต่อของรอยเชื่อม และสึกหรอเนื่องจากการใช้งาน



รูป ง-3 แสดงความเสียหายที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์เชื่อมผง C ที่ 500 องศา โดยจะเป็น
 พруนบริเวณรอยต่อของรอยเชื่อม และส่วนใหญ่สึกหรอเนื่องจากการใช้งาน

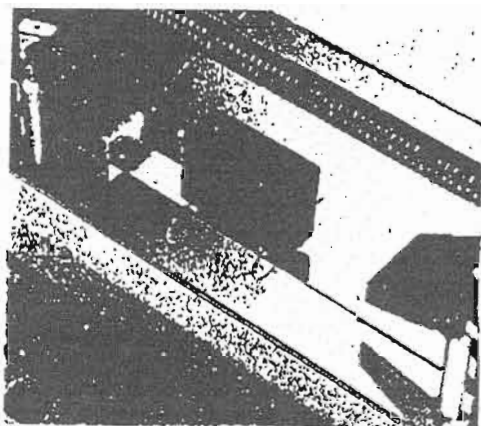
ภาคผนวก จ

รายละเอียดเครื่องทดสอบแรงดึง H.T.E. Model: H20K-W

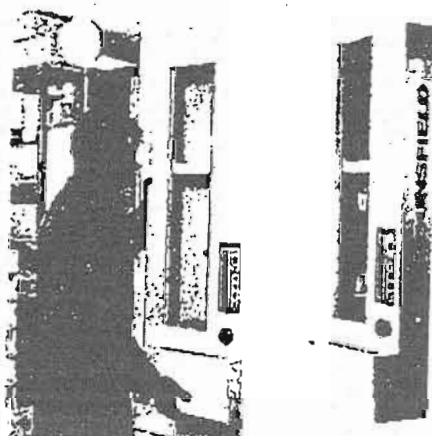


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

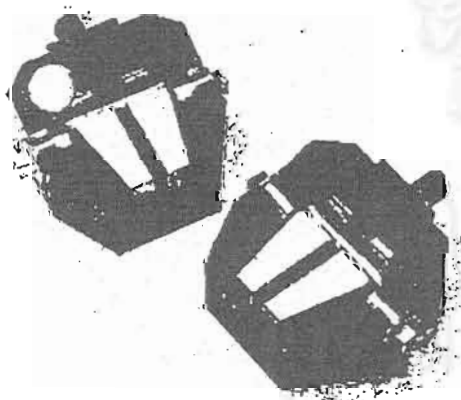
Easy to read LCD graphical display



Input included for connection of optional extensometer and displacement transducers



W-Series portable testing machine with wall storage option



Options available include. Clear protective screen, dust cover, grips and attachments to hold test specimens, printer and RS232 cable

World-wide over 10000 satisfied users of Hounsfield materials testing machines. On-line technical support from Hounsfield engineers and representatives available free of charge.



LOAD FRAME

- H20K-W Capacity 20kN (2000kg)
Proof tested to 40kN*
- H10K-W Capacity 10kN (1000kg)
Proof tested to 20kN*
- H5K-W Capacity 5kN (500kg)
Proof tested to 10kN*
- Style: Horizontal Bench Mounted
- Construction: solid steel-crossheads with sheet steel panelling
- Precision Gear Speed Reduction with Low/High Reduction Mode
- Precision Steel Lead Screws
- Pre-loaded Lead Screw Turnst Races
- Frame Stiffness 50kN/mm at normal load points
- Precision DC Motor
- Programmable crosshead Limit Switches
- Emergency Stop Switch
- Maximum crosshead travel (excluding grips) is 700mm
- Maximum sample Size 150mm Wide x 160mm Deep

*Note Capacity in high reduction mode and is reduced to 1/10 in low reduction mode.

CONTROL DISPLAY FUNCTIONS

- Force Programmable Extension or Auxiliary Break Detector
- Programmable Limits, Force, Extension, Auxiliary and Jog
- 4 Alpha Numeric 20 Character Sample Identifiers
- 5 Programmable Coincidence Points
- Force, Extension and Auxiliary Units Select
- Storage and retrieval of 5 test profiles
- Multi-language
- High resolution graphical output direct to printer
- Force, Extension Auto Ranging on graphical printout
- Multiple test result storage facility
- Serial Data Logger Output: Mode for Curve and Results Data in ASCII

CONTROL PANEL

- 30 Character 2 Row Superwiz LCD Alpha Numeric Display
- 4 Multi Function Data Entry Keys with Raised-Positive Key Action
- Crosshead Left, Right, Stop and Test Keys
- LED Direction and Alarm indicators
- System Watch Dog Timer
- 1 Auxiliary option slot for external equipment
- Parallel Printer Port
- 16 Bit Microcontroller with Battery backed memory
- Audible alarms

FORCE MEASUREMENT

- Load Cell Z Beam Construction
- Conforms to EN 10002-2, ASTM E4, DIN 51221, ISO 7500-1*
- H20K-W Machine Range 1kN to 20kN, Accuracy 1.0% of Applied Force
- H10K-W Machine Range 500N to 10kN, Accuracy 1.0% of Applied Force
- H5K-W Machine Range 250N to 5kN, Accuracy 1.0% of Applied Force
- 20Bit Transducer A/D Converter
- Force sampling rate typically 50 Times per Second
- Lead cell resolution 1 part in 32,000 (Tension or Compression)
- Original Load Rate 4-20% whilst maintaining 95% load cell capacity
- 5 Digit Active Force Display
- 5 Digit Force Peak Hold Display (Tension or Compression)
- Multi Units Newtons, Kilograms, Pounds, NPs, kg/cm², psi
- Programmable Load Limits
- Programmable Pre-Load

EXTENSION MEASUREMENT

- Extension Measurement by optical encoder
- Single measurement range 0 to 1000mm
- Resolution 0.01mm accuracy 0.1mm/300mm
- 6 Digit Active Extension Display (Crosshead or Auxiliary)
- 6 Digit Extension at break display (Crosshead or Auxiliary)
- Display Units, Millimetres, Inches
- Programmable Extension Limits

SPEED CONTROL

- 2 Programmable test speeds
- High Reduction Mode: 1 Strain/min to 50mm/min
- Low Reduction Mode: 1 Strain/min to 500mm/min
- Programmable jog speed
- High Reduction Mode: 1.5mm/min to 50mm/min
- Low Reduction Mode: 1.5mm/min to 500mm/min
- Digital closed loop velocity control
- Speed accuracy better than +/- 1% of full Speed
- Dual Speed Function whilst under test
- Drive system: 4 Quadrant Motor Drive with motor fault detection and over current protection

HARDWARE OPTIONS

- Hounsfield range of City on Extensometers
- Hounsfield range of Displacement Transducers
- Hounsfield range of Grips and Attachments
- Clear protective screen
- Wall mounting brackets
- Dust cover
- Printer HP GL2/PCL5 compatible
- Printer cable
- RS232 cable

DIMENSIONS Length 1100mm, Depth 370mm, Height 210mm

WEIGHT 40 kg.

TEMPERATURE Operating 0°C to 35°C
Storage -10°C to 45°C

HUMIDITY 10% to 90% Non-Condensing Wet Bulb Method

POWER 45v 50/60Hz 500W
Standard Optional Voltages 220/240V 110/125V

CE MARKED

*Optional calibration certificates are available issued in accordance with specific standards or NPL/AS.

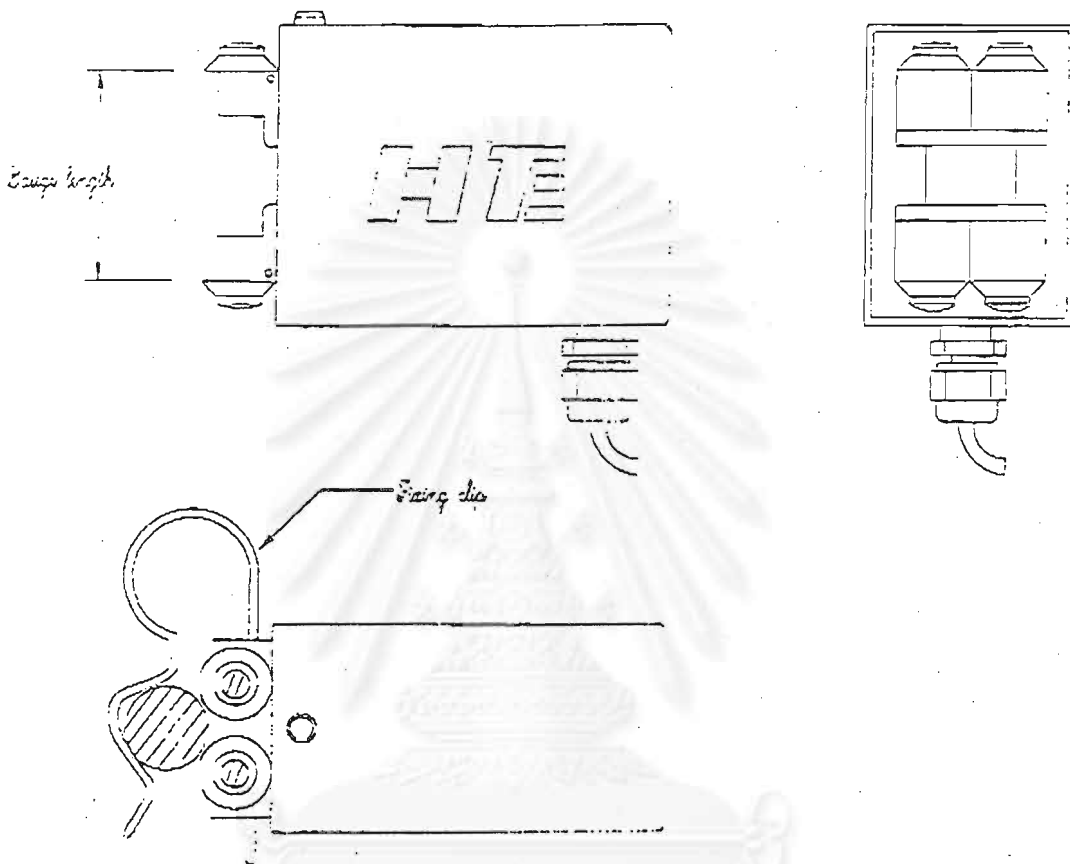
HOW TO ORDER

To perform mechanical tests quickly and easily on materials such as metals, plastics, composites, rubber, wood, textiles, paper and packaging, tapes, leather, belts, wire, yarn, fixings, cables, connectors, adhesives, components and applications within education, contact Hounsfield Test Equipment e-mail: sales@hounsfield.com or fax: ++ 44 (0)1737 764768 or tel: ++ 44 (0)1737 755001.



PROOF STRESS EXTENSOMETER

Specification, Clip On Extensometer.



	UNITS	PS25	PS50
Gauge length	mm	25	50
Range(Tensile)	%	0 to 10	0 to 10
Calibrated travel	mm	2.5	5
Calibration specification		BS 3846 Grade C	BS 3846 Grade C
Sample diameter	mm	2 to 16	2 to 16
Force at maximum travel	N	0.5	0.5
Length	mm	54	54
Height	mm	25	25
Width	mm	40	68
Weight	g	70	90
Cable length	m	1.5	1.5



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย พจน์ รัตนชัยสิทธิ์ เกิดเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2514 ที่ อ. พระประแดง จ. สมุทรปราการ
ประวัติการศึกษา

ประถมศึกษาปีที่ 1 – 6 โรงเรียน ราชประชาสมาสัย ในพระบรมราชูปถัมภ์

อ. พระประแดง จ. สมุทรปราการ

มัธยมศึกษาปีที่ 1 – 6 โรงเรียน ราชประชาสมาสัย ฝ่ายมัธยมรัชดาภิเษก

ในพระบรมราชูปถัมภ์ อ. พระประแดง จ. สมุทรปราการ

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหกรรม) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บางเขน กรุงเทพฯ

การทำงาน

ขณะศึกษาหลักสูตรปริญญาโท วิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาคนอกเวลาราชการ จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย

บริษัท อุตสาหกรรมทำเครื่องแก้วไทย (มหาชน) จำกัด ราษฎร์บูรณะ กรุงเทพฯ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย