

**ภาคผนวก ก**

**ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางเคมี**

MTEC NO.1858/54

## รายงานผลการวิเคราะห์

วันที่รายงาน	:	30 มีนาคม 2554
ตัวอย่างจาก	:	คุณ ชงชัย เพ็งจันทร์ 63 หมู่ 7 ต. องครักษ์ อ. องครักษ์ จ. นครนายก 26120 โทรศัพท์: 081 5578001
ทดสอบโดย	:	ห้องปฏิบัติการเอกซเรย์ดิฟแฟรกชันและเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนส์ หน่วยวิจัยลักษณะเฉพาะของวัสดุ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
วันที่รับตัวอย่าง	:	24 มีนาคม 2554
วันที่วิเคราะห์	:	24 - 30 มีนาคม 2554
ขอบเขตการวิเคราะห์	:	วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง
ตัวอย่างที่วิเคราะห์	:	ทองเหลือง 1 ตัวอย่าง
การบ่งชี้ตัวอย่าง	:	ชงชัยทองเหลือง
เครื่องมือที่ใช้วิเคราะห์	:	X-ray fluorescence spectrometer, Philips PW-2404
เทคนิคที่ใช้วิเคราะห์	:	Semi-quantitative X-ray fluorescence spectrometry analysis
สภาวะที่ใช้วิเคราะห์	:	Temperature $25 \pm 5$ °C, Relative humidity $60 \pm 10$ % R.H.
การเตรียมตัวอย่าง	:	ใส่ชิ้นงานลงใน Holder แล้วนำไปวิเคราะห์

MTEC NO.1858/54

1/3

## ผลการวิเคราะห์ :

จากการวิเคราะห์หาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่างด้วยเทคนิค X-ray fluorescence ปริมาณองค์ประกอบทางเคมีที่พบในตัวอย่าง แสดงไว้ในตารางข้างล่าง

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณองค์ประกอบทางเคมีในตัวอย่าง

ธาตุ	ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี ตัวอย่าง (%wt)
	ธงชัยทองเหลือง
Mg	0.04
Al	0.02
Si	0.03
P	0.03
S	0.02
Cl	0.07
Ca	0.01
Fe	0.01
Ni	0.02
Cu	61.34
Zn	38.40
รวม	100.00

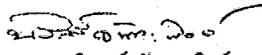
- Notes: 1. ปริมาณของแต่ละธาตุที่รายงานข้างต้น ได้เทียบจากปริมาณรวมของธาตุที่พบด้วยเทคนิค XRF ทั้งหมดให้เป็น 100%
2. ปริมาณของธาตุที่เครื่องมือสามารถวัดได้ต่ำสุดคือ 0.01 wt% นอกจากนี้จะแจ้งไว้ในนอกเหนือจากนั้น
3. ข้อจำกัดทางเทคนิค XRF คือ ไม่สามารถวัดส่วนประกอบที่เป็นธาตุที่มีเลขอะตอมต่ำกว่าเลขอะตอมของออกซิเจน (8) และที่มีเลขอะตอมสูงกว่าเลขอะตอมของยูเรเนียม (92)

ข้อคิดเห็น: -

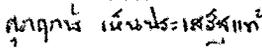
เอกสารแนบ:

เอกสารแนบที่ 1.1-1.2: กราฟแสดงองค์ประกอบของธาตุในตัวอย่าง ธงชัยทองเหลือง

ทดสอบโดย:

  
(นายรินทร์ จันทะพิงค์)  
เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ XRD และ XRF

ตรวจสอบโดย:

  
(นายสุกฤษณ์ เทียนประเสริฐแท้)  
รักษาการหัวหน้าห้องปฏิบัติการ XRD และ XRF

หมายเหตุ:

1. ศูนย์ฯ ไม่อนุญาตให้มีการแก้ไข เพิ่มเติม หรือเปลี่ยนแปลงรายงาน หรือส่วนหนึ่งส่วนใดของรายงาน เว้นแต่จะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร จากศูนย์ฯ
2. ทางศูนย์ฯ ไม่สามารถรับผิดชอบต่อความเสียหายใด ๆ ที่จะเกิดขึ้น ไม่ว่าโดยทางตรงหรือทางอ้อม ในกรณีที่น่าข้อมูล ผลการวิเคราะห์ ข้อสรุปหรือคำแนะนำฉบับนี้ไปใช้ในการออกแบบ การผลิต หรือเพื่อจุดประสงค์ใดก็ตาม
3. ผลการทดลองเป็นจริงเฉพาะตัวอย่างที่นำมาทดลองเท่านั้น


**MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)**

Request No. : MDL 0857/54

Date : 4 May 2011

Date of request : 4 April 2011

Page : 1 of 3

**REPORT ON ANALYSIS / TESTING**

For

**Rajamangala University of Technology Thanyaburi**  
**39 Muhi, Rangsit-Nakhonnayok Rd. Klong Hok, Thanyaburi Pathum Thani 12110**

Testing/analysis/investigation of : Brass - Zn 35 % (Transverses and Longitudinal)

Method of testing/analysis/investigation : Tensile test according to ASTM E8

Result of testing/analysis/investigation :-

The test results are attached.

Tested/analysed/investigated by

1. *S. Nalinthorn*  
 2. \_\_\_\_\_

Approved by

*S. Nalinthorn*  
 (Ms. Nalinthorn Suwapomcharuwach)  
 for Director  
 Material Property Development Laboratory

Examined by

*S. Nalinthorn*  
 (Ms. Nalinthorn Suwapomcharuwach)

This report contains 3 pages

FS-MPAD-GEN-510-1-01/02/48

Remark: The above results are valid exclusively for tested/analysed samples as mentioned in this report.  
 Publication of the results on testing and analysis is prohibited unless written permission is obtained from the Governor of TISTR.



<b>MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)</b>	
<b>MATERIAL PROPERTY DEVELOPMENT LABORATORY (MDL)</b>	
Request No. : MDL 0857/54	Date : 4 May 2011
<b>REPORT</b>	
Customer : Rajamangala University of Technology Thanyaburi	Page : 2 of 3

Rajamangala University of Technology Thanyaburi has commissioned the Material Properties Analysis and Development Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research (MPAD/TISTR) to carry out tensile test of the specimens of Brass - Zn 35 % (Transverses and Longitudinal)

The specimens were prepared by customer. The results are as follows :

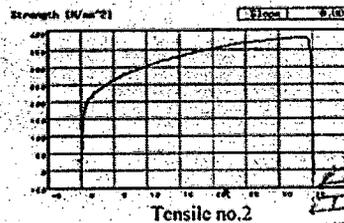
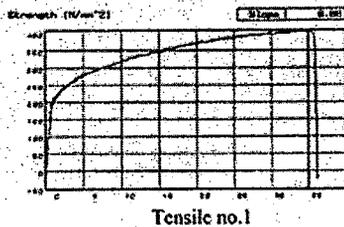
Test date : 4 May 2011

Test temperature : 25 °C

Testing machine : Electromechanical Universal Testing Machine SCHENCK RSA 250

**The results of tensile test of  
Brass - Zn 35 % (Transverses)**

Specimen	T1	T2
Thickness (mm)	0.64	0.66
Width (mm)	12.25	12.35
Cross sectional area (mm <sup>2</sup> )	7.84	8.15
Load at 0.2% offset yield strength (N)	1,572	1,567
Maximum tensile load (kN)	3.139	3.108
0.2% Offset yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	200.51	192.29
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	400.38	381.35
Elongation (%)	29.50	29.66
Location of fracture	In the length	In the length



FS-MPAD-MDL-S/0-1-01/02/11



**MATERIAL PROPERTIES ANALYSIS AND DEVELOPMENT CENTRE (MPAD)  
MATERIAL PROPERTY DEVELOPMENT LABORATORY (MDL)**

Request No. : MDL 0857/54

Date : 4 May 2011

**REPORT**

Customer : Rajamangala University of Technology Thanyaburi

Page : 3 of 3

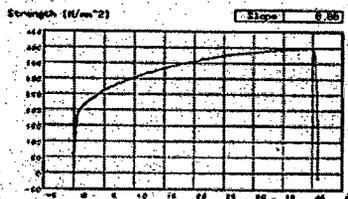
Test date : 4 May 2011

Test temperature : 25 °C

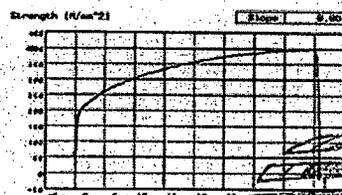
Testing machine : Electromechanical Universal Testing Machine SCHENCK RSA 250

**The results of tensile test of  
Brass - Zn 35 % (Longitudinal)**

Specimen	T1	T2
Thickness (mm)	0.65	0.63
Width (mm)	12.57	12.51
Cross sectional area (mm <sup>2</sup> )	8.17	7.88
Load at 0.2% offset yield strength (N)	1,599	1,569
Maximum tensile load (kN)	3.285	3.274
0.2% Offset yield strength (N/mm <sup>2</sup> )	195.72	199.15
Tensile strength (N/mm <sup>2</sup> )	402.08	415.48
Elongation (%)	34.02	31.60
Location of fracture	In the length	In the length



Tensile no.1



Tensile no.2

FS-MPAD-MDL 5101/01/0248

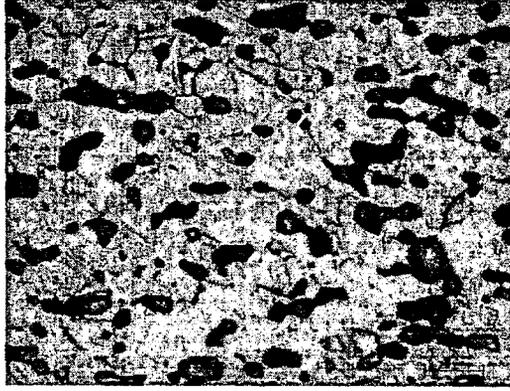
S. Nait...

Thailand Institute of Scientific and Technological Research

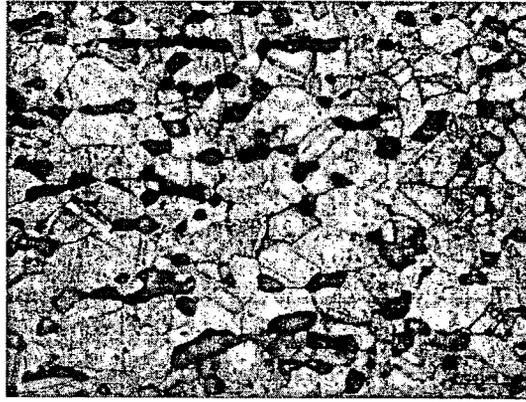
375 Mitoo 2, Pathumwan, Bangkok 10310, Thailand

รูป ก.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกลและทางเคมีของแผ่นทองเหลืองที่นำมาทำการทดลอง

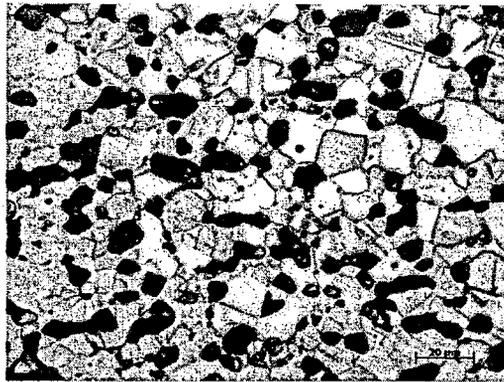
ภาคผนวก ข  
ภาพรวมโครงสร้างจุดภาคของทองเหลืองก่อนขึ้นรูป  
ที่กำลังขยาย 500 เท่า



รูป ข.1 ภาพเกรนทองเหลืองก่อนขึ้นรูป ที่มุม 30

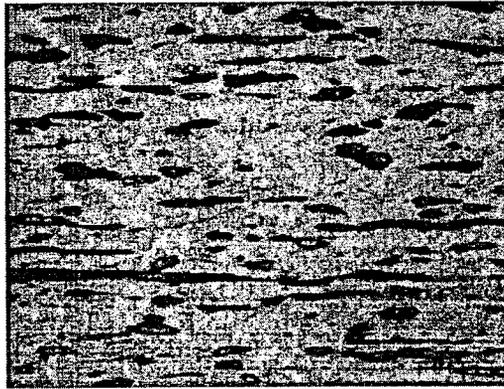


รูป ข.2 ภาพเกรนทองเหลืองก่อนขึ้นรูป ที่มุม 40

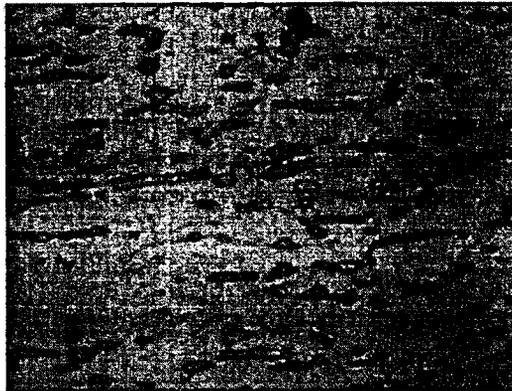


รูป ข.3 ภาพเกรนทองเหลืองก่อนขึ้นรูป ที่มุม 50

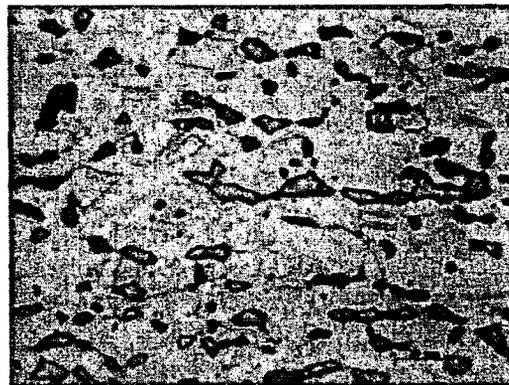
ภาคผนวก ค  
ภาพรวมโครงสร้างจุดภาคของทองเหลืองหลังขึ้นรูป  
ที่กำลังขยาย 500 เท่า



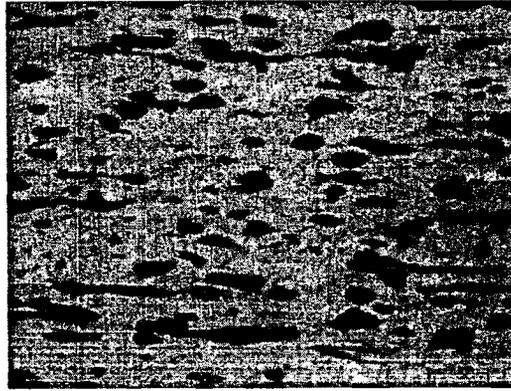
ชั้นที่ 1 มุมชันงาน 30° F 100 S 400 จุดที่ 1



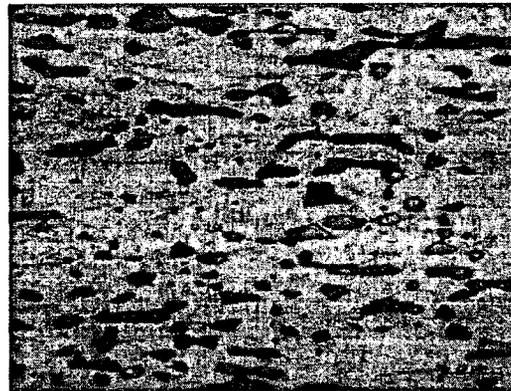
ชั้นที่ 1 มุมชันงาน 30° F 100 S 400 จุดที่ 2



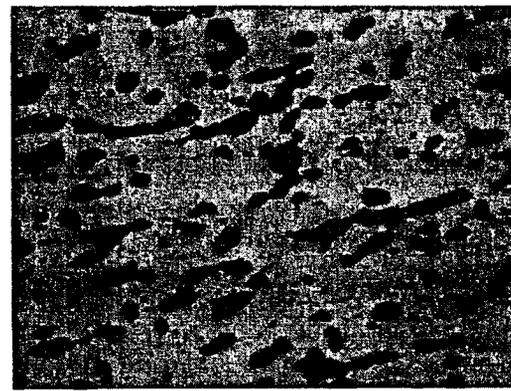
ชั้นที่ 1 มุมชันงาน 30° F 100 S 400 จุดที่ 3



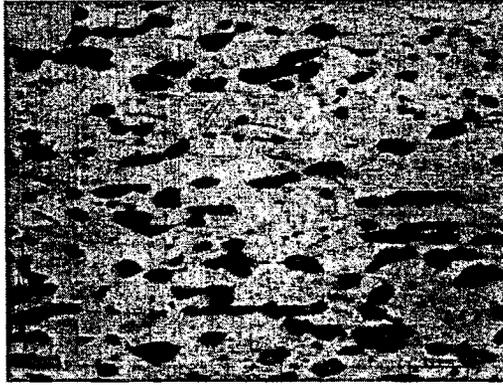
ชั้นที่ 2 มุมชันงาน 30° F 100 S 200 จุดที่ 1



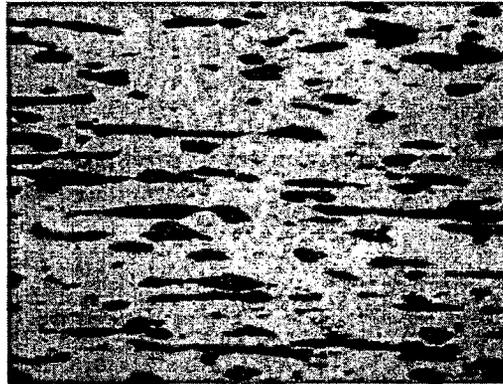
ชั้นที่ 2 มุมชันงาน 30° F 100 S 200 จุดที่ 2



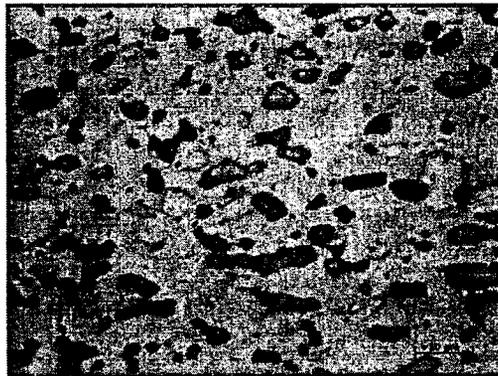
ชั้นที่ 2 มุมชันงาน 30° F 100 S 200 จุดที่ 3



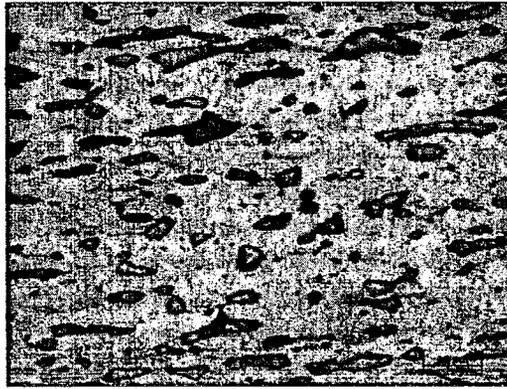
ชั้นที่ 3 มุมชันงาน 30° F 100 S 600 จุดที่ 1



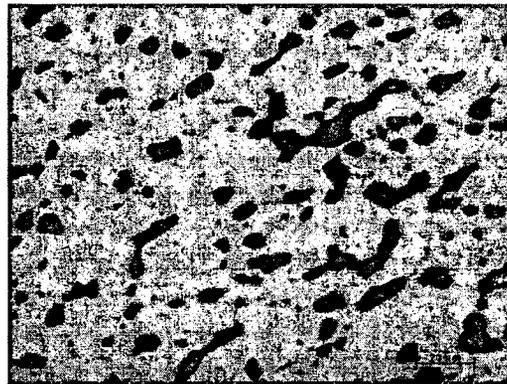
ชั้นที่ 3 มุมชันงาน 30° F 100 S 600 จุดที่ 2



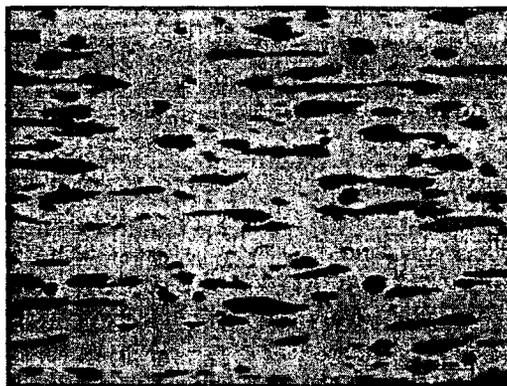
ชั้นที่ 3 มุมชันงาน 30° F 100 S 600 จุดที่ 3



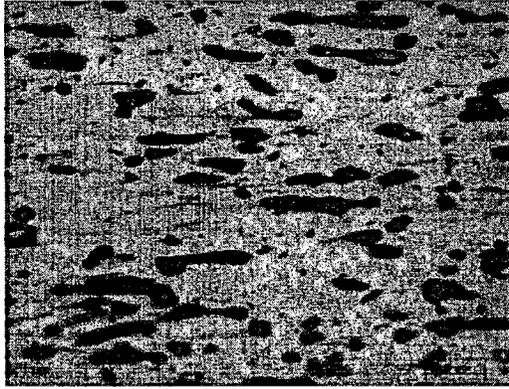
ชั้นที่ 4 มุมชันงาน 30° F 200 S 200 จุดที่ 1



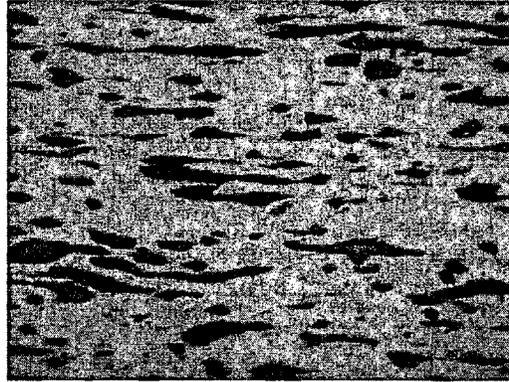
ชั้นที่ 4 มุมชันงาน 30° F 200 S 200 จุดที่ 2



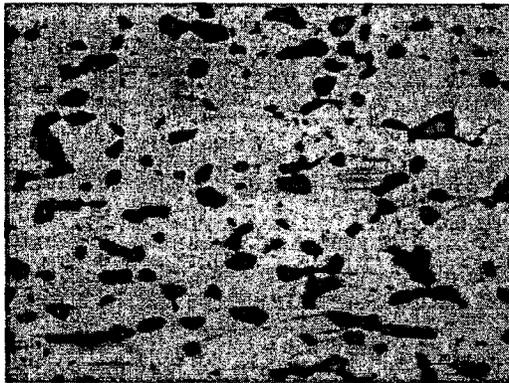
ชั้นที่ 4 มุมชันงาน 30° F 200 S 200 จุดที่ 3



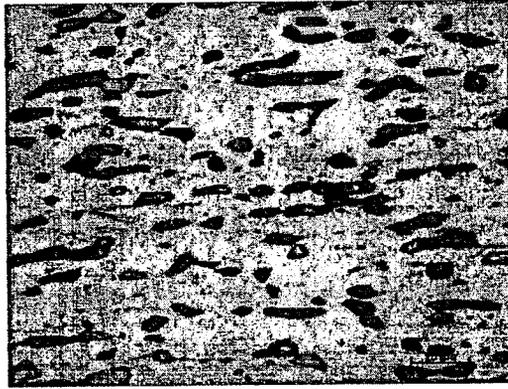
ชั้นที่ 5 มุมชันงาน 30° F 200 S 400 จุดที่ 1



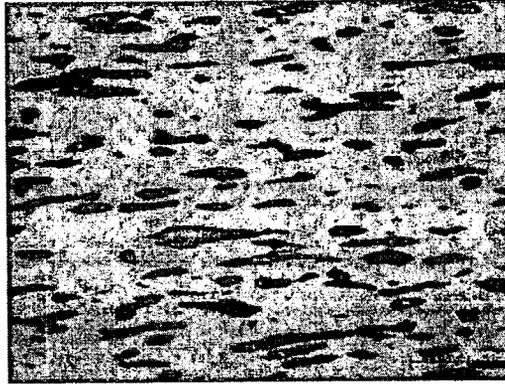
ชั้นที่ 5 มุมชันงาน 30° F 200 S 400 จุดที่ 2



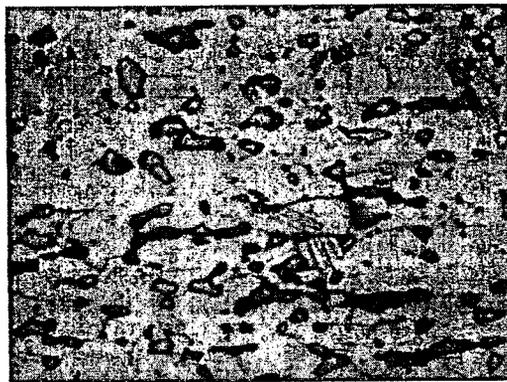
ชั้นที่ 5 มุมชันงาน 30° F 200 S 400 จุดที่ 3



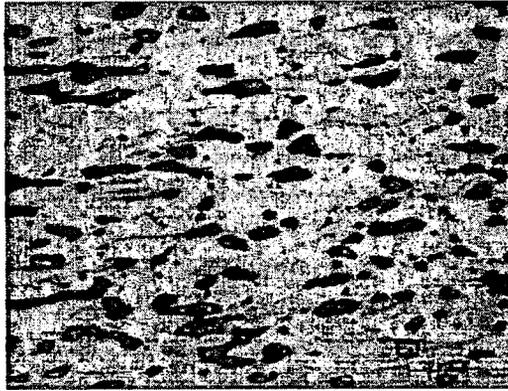
ชั้นที่ 6 มุมชันงาน 30° F 200 S 600 จุดที่ 1



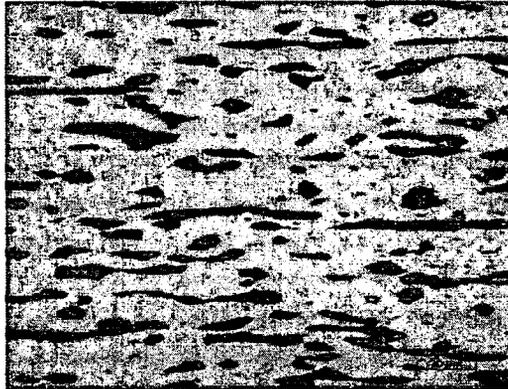
ชั้นที่ 6 มุมชันงาน 30° F 200 S 600 จุดที่ 2



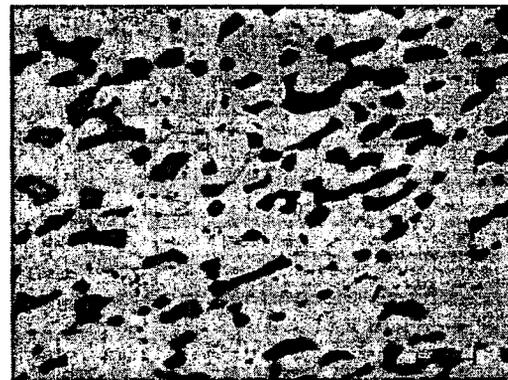
ชั้นที่ 6 มุมชันงาน 30° F 200 S 600 จุดที่ 3



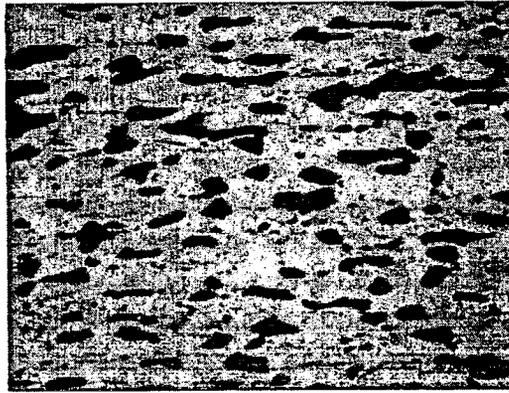
ชั้นที่ 7 มุมชันงาน 30° F 200 S 400 จุดที่ 1



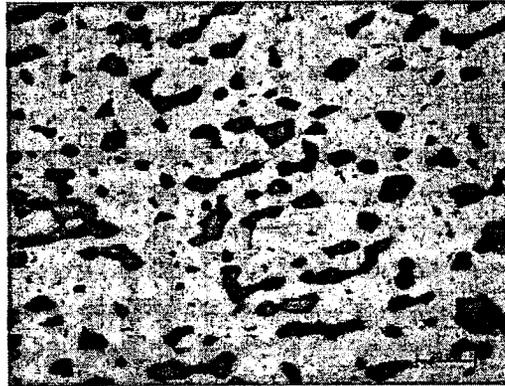
ชั้นที่ 7 มุมชันงาน 30° F 200 S 400 จุดที่ 2



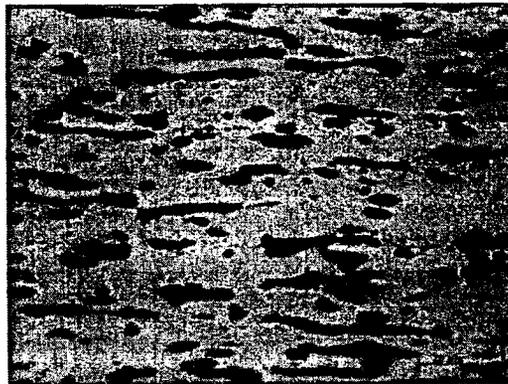
ชั้นที่ 7 มุมชันงาน 30° F 200 S 400 จุดที่ 3



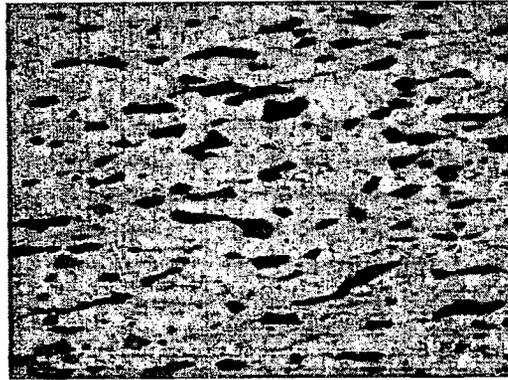
ชั้นที่ 8 มุมชันงาน 30° F 200 S 300 จุดที่ 1



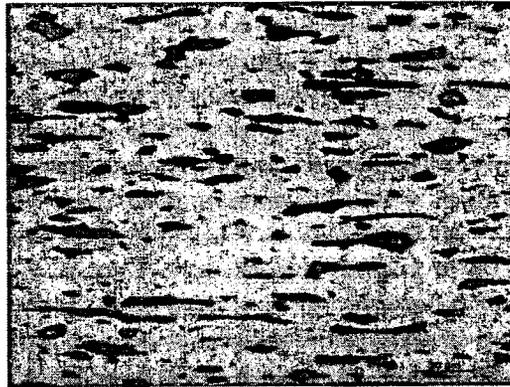
ชั้นที่ 8 มุมชันงาน 30° F 200 S 300 จุดที่ 2



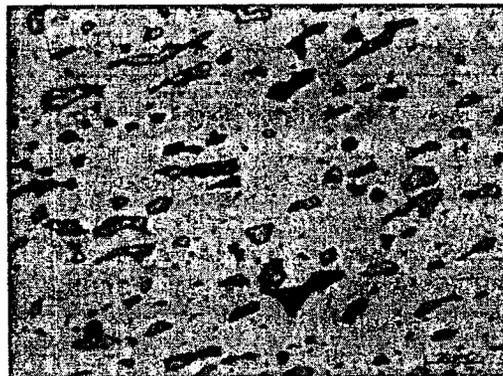
ชั้นที่ 8 มุมชันงาน 30° F 200 S 300 จุดที่ 3



ชั้นที่ 9 มุมขึ้นงาน 30° F 300 S 600 จุดที่ 1

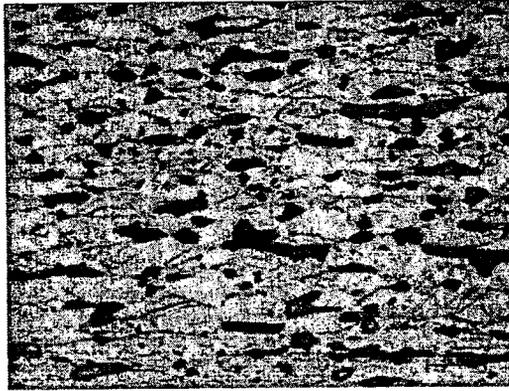


ชั้นที่ 9 มุมขึ้นงาน 30° F 300 S 600 จุดที่ 2

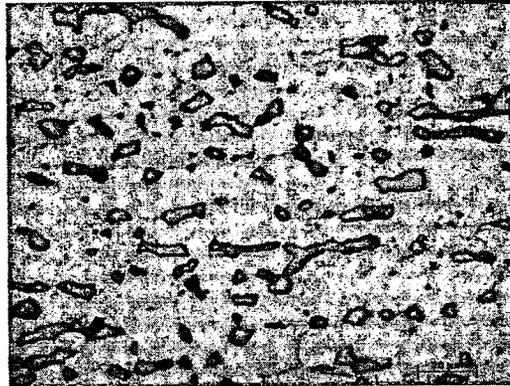


ชั้นที่ 9 มุมขึ้นงาน 30° F 300 S 600 จุดที่ 3

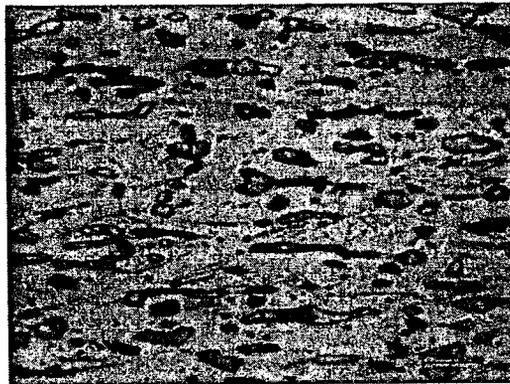
รูป ค.1 ภาพรวมโครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยาย 500 เท่าหลังการขึ้นรูป ที่มุม 30 องศา



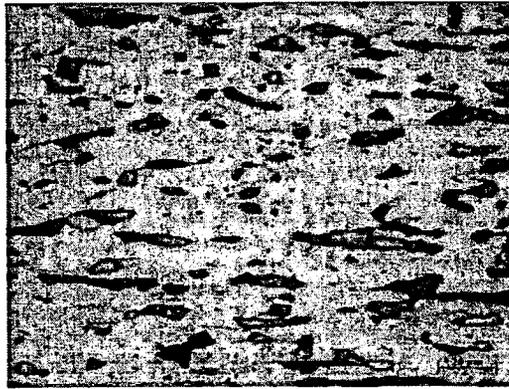
ชั้นที่ 10 มุมชันงาน 40° F 200 S 300 จุดที่ 1



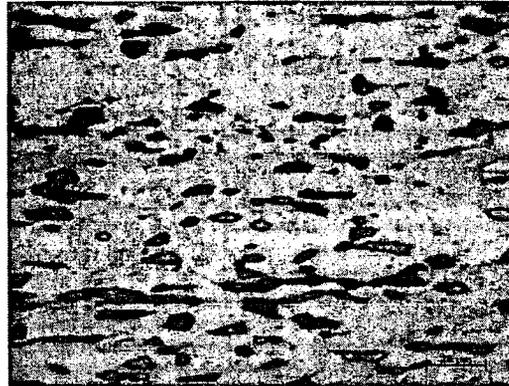
ชั้นที่ 10 มุมชันงาน 40° F 200 S 300 จุดที่ 2



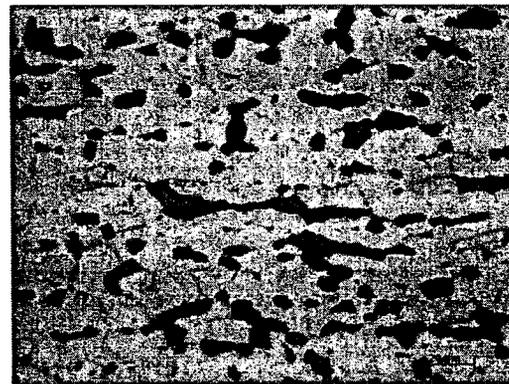
ชั้นที่ 10 มุมชันงาน 40° F 200 S 300 จุดที่ 3



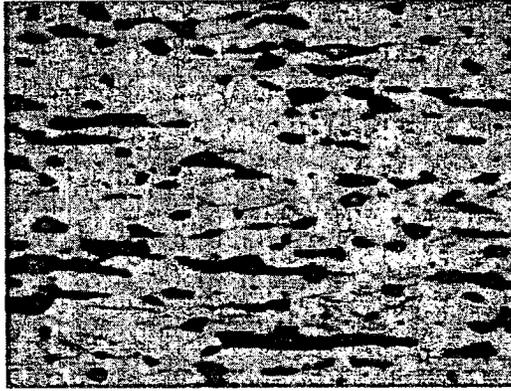
ชั้นที่ 11 มุมชันงาน 40° F 300 S 600 จุดที่ 1



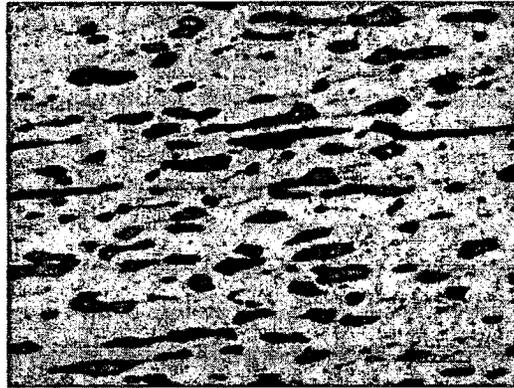
ชั้นที่ 11 มุมชันงาน 40° F 300 S 600 จุดที่ 2



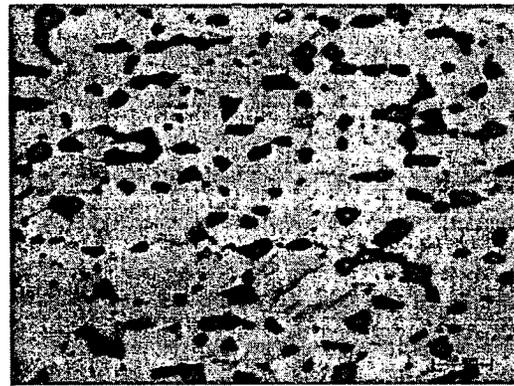
ชั้นที่ 11 มุมชันงาน 40° F 300 S 600 จุดที่ 3



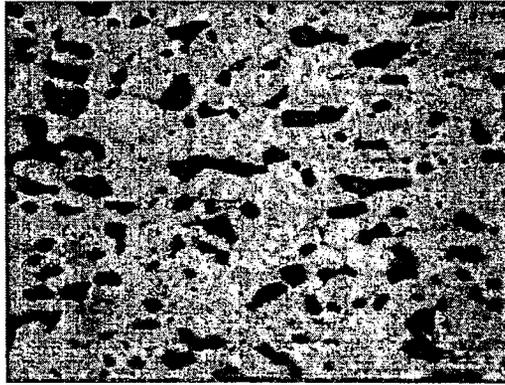
ชั้นที่ 12 มุมชันงาน 40° F 200 S 600 จุดที่ 1



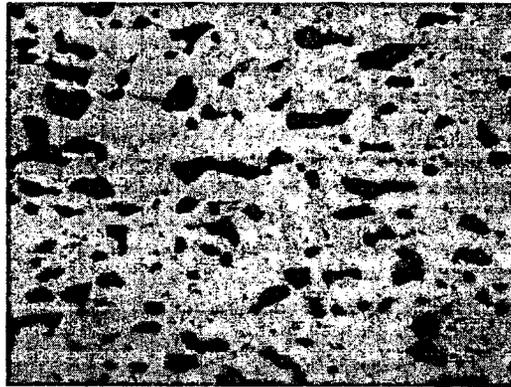
ชั้นที่ 12 มุมชันงาน 40° F 200 S 600 จุดที่ 2



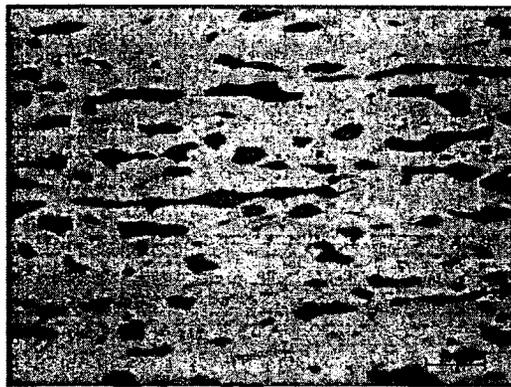
ชั้นที่ 12 มุมชันงาน 40° F 200 S 600 จุดที่ 3



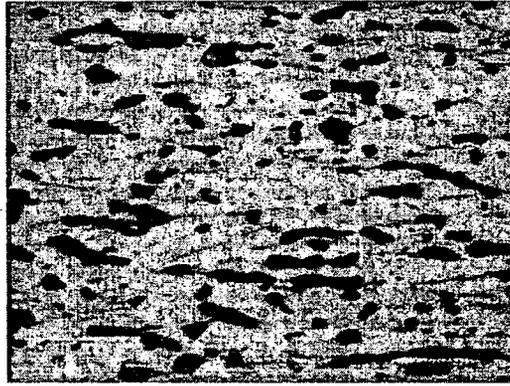
ชั้นที่ 13 มุมชิ้นงาน 40° F 200 S 200 จุดที่ 1



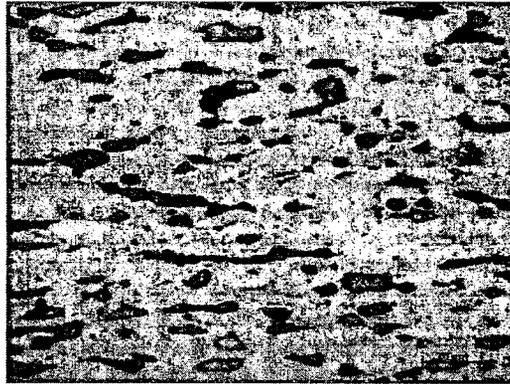
ชั้นที่ 13 มุมชิ้นงาน 40° F 200 S 200 จุดที่ 2



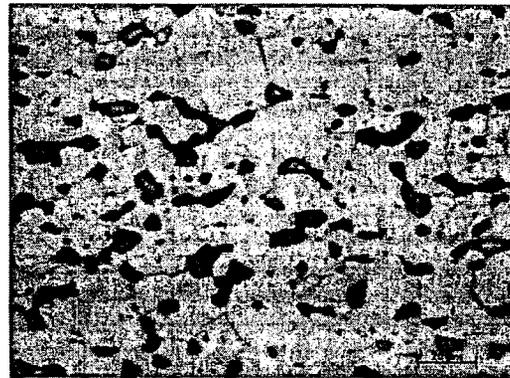
ชั้นที่ 13 มุมชิ้นงาน 40° F 200 S 200 จุดที่ 3



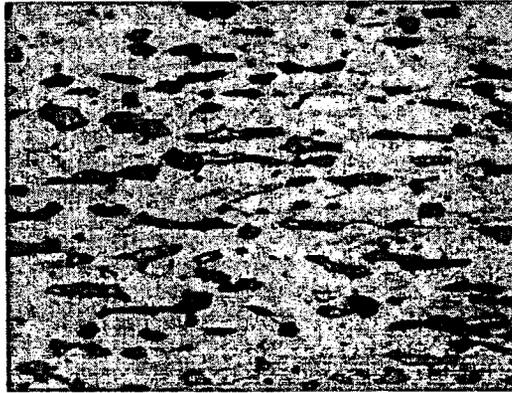
ชั้นที่ 14 มุมชันงาน 40° F 200 S 400 จุดที่ 1



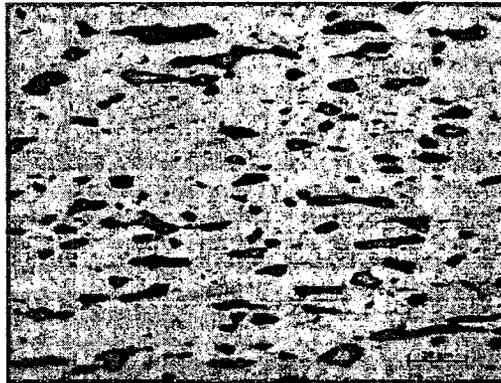
ชั้นที่ 14 มุมชันงาน 40° F 200 S 400 จุดที่ 2



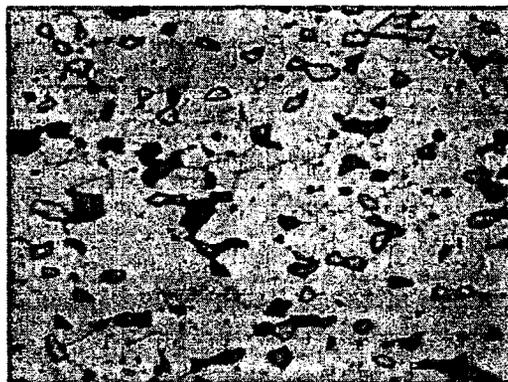
ชั้นที่ 14 มุมชันงาน 40° F 200 S 400 จุดที่ 3



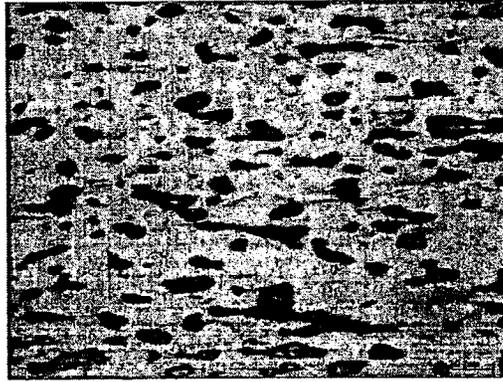
ชั้นที่ 15 มุมชันงาน 40° F 100 S 600 จุดที่ 1



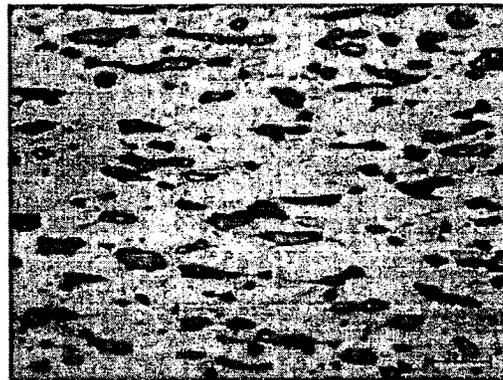
ชั้นที่ 15 มุมชันงาน 40° F 100 S 600 จุดที่ 2



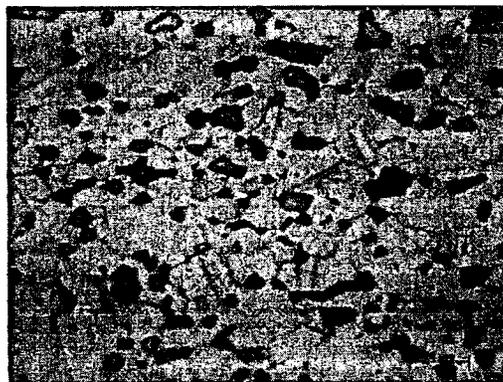
ชั้นที่ 15 มุมชันงาน 40° F 100 S 600 จุดที่ 3



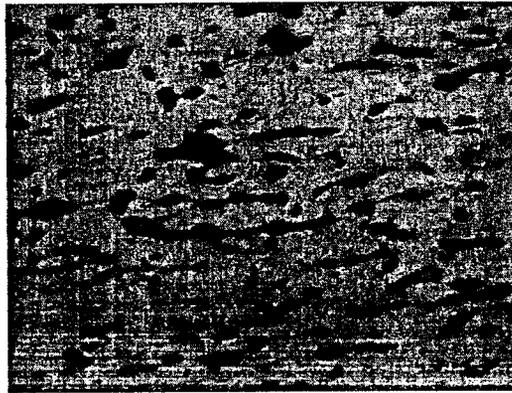
ชั้นที่ 16 มุมชันงาน 40° F 100 S 400 จุดที่ 1



ชั้นที่ 16 มุมชันงาน 40° F 100 S 400 จุดที่ 2



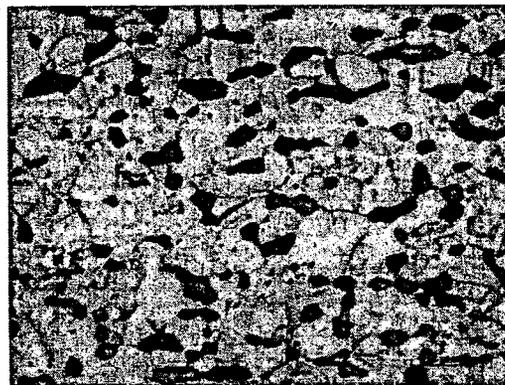
ชั้นที่ 16 มุมชันงาน 40° F 100 S 400 จุดที่ 3



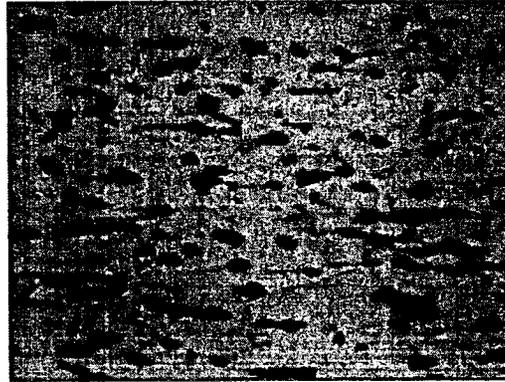
ชั้นที่ 17 มุมชันงาน 40° F 300 S 400 จุดที่ 1



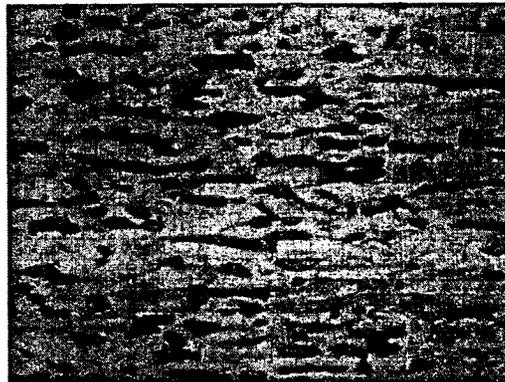
ชั้นที่ 17 มุมชันงาน 40° F 300 S 400 จุดที่ 2



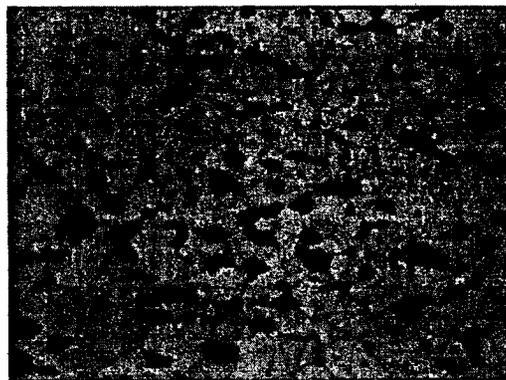
ชั้นที่ 17 มุมชันงาน 40° F 300 S 400 จุดที่ 3



ชั้นที่ 18 มุมขึ้นงาน 40° F 100 S 200 จุดที่ 1

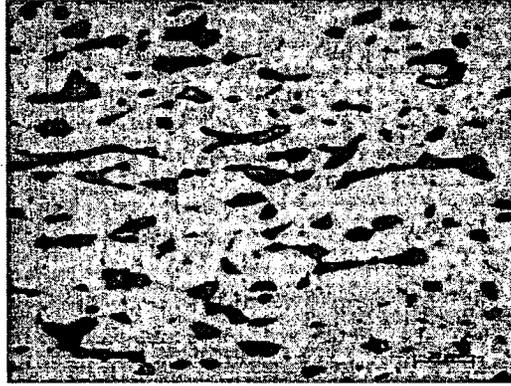


ชั้นที่ 18 มุมขึ้นงาน 40° F 100 S 200 จุดที่ 2

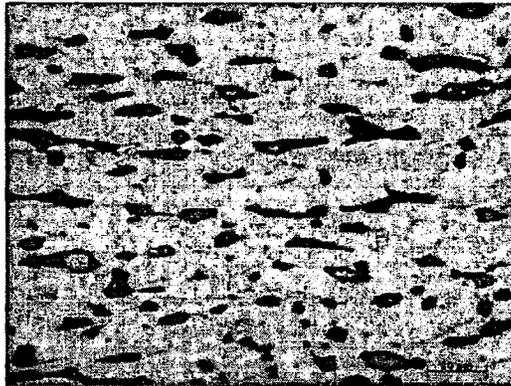


ชั้นที่ 18 มุมขึ้นงาน 40° F 100 S 200 จุดที่ 3

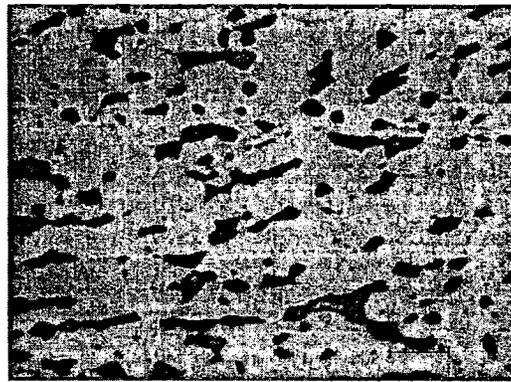
รูป ค.2 ภาพรวมโครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยาย 500 เท่าหลังการขึ้นรูป ที่มุม 40 องศา



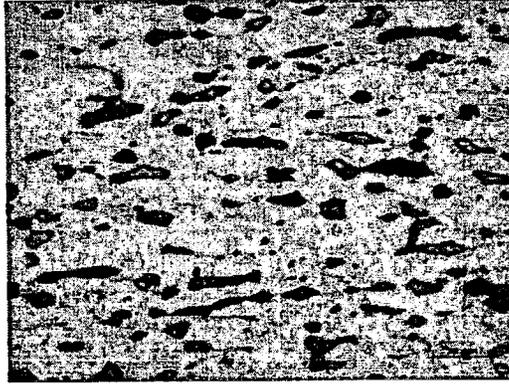
ชั้นที่ 19 มุมชันงาน 50° F 100 S 200 จุดที่ 1



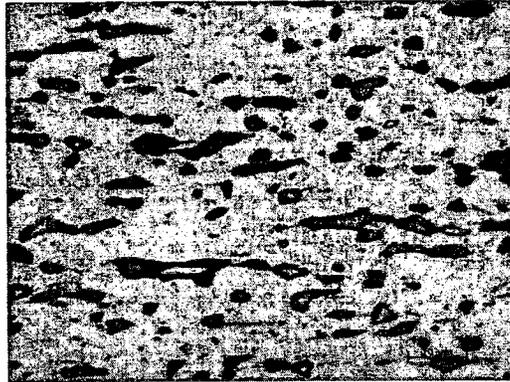
ชั้นที่ 19 มุมชันงาน 50° F 100 S 200 จุดที่ 2



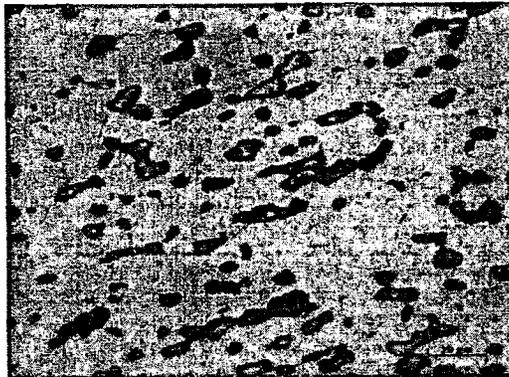
ชั้นที่ 19 มุมชันงาน 50° F 100 S 200 จุดที่ 3



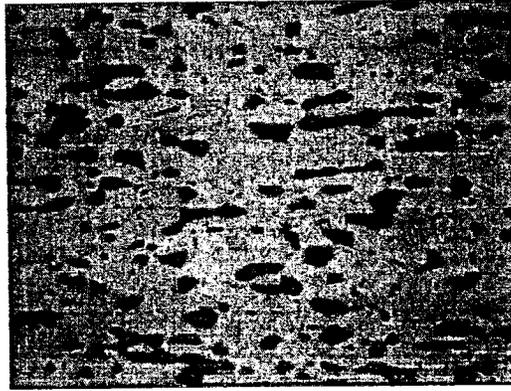
ชั้นที่ 20 มุมชันงาน 50° F 100 S 400 จุดที่ 1



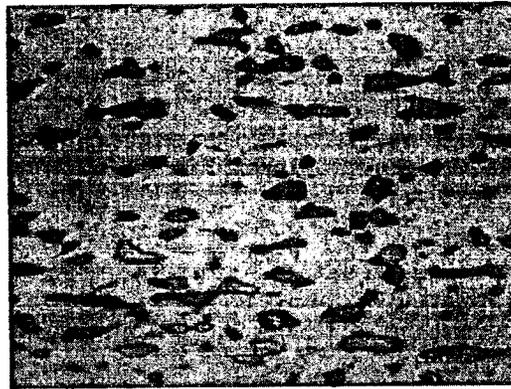
ชั้นที่ 20 มุมชันงาน 50° F 100 S 400 จุดที่ 2



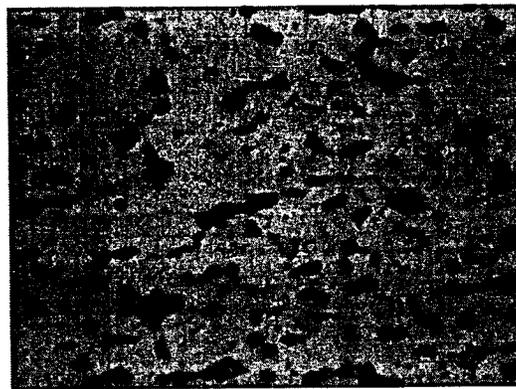
ชั้นที่ 20 มุมชันงาน 50° F 100 S 400 จุดที่ 3



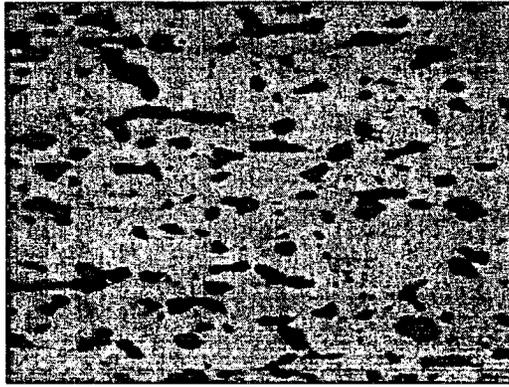
ชั้นที่ 21 มุมชันงาน 50° F 100 S 600 จุดที่ 1



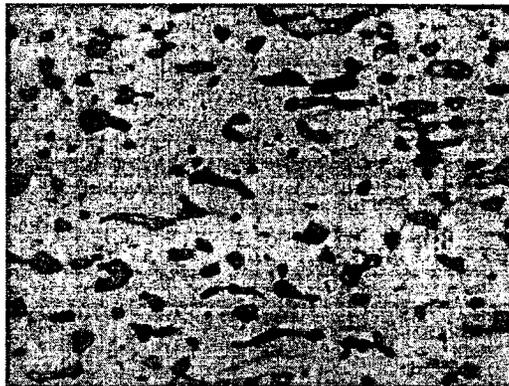
ชั้นที่ 21 มุมชันงาน 50° F 100 S 600 จุดที่ 2



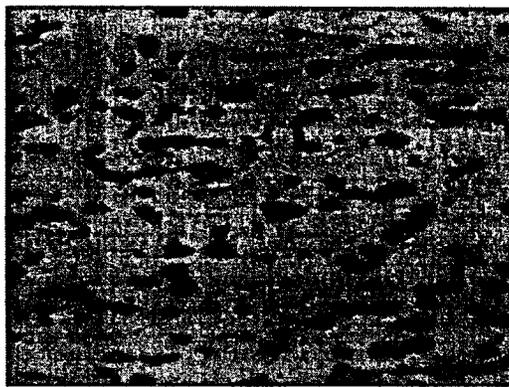
ชั้นที่ 21 มุมชันงาน 50° F 100 S 600 จุดที่ 3



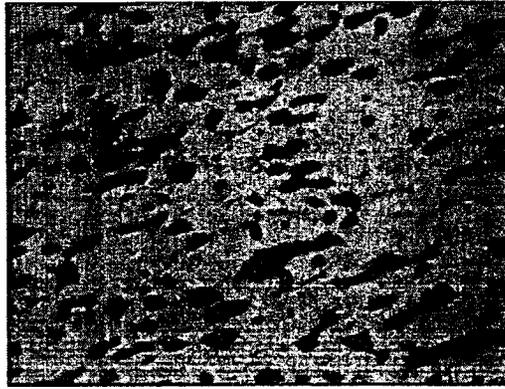
ชั้นที่ 22 มุมชันงาน 50° F 200 S 200 จุดที่ 1



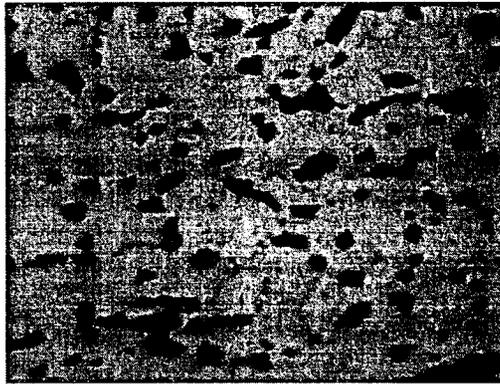
ชั้นที่ 22 มุมชันงาน 50° F 200 S 200 จุดที่ 2



ชั้นที่ 22 มุมชันงาน 50° F 200 S 200 จุดที่ 3



ชั้นที่ 23 มุมชันงาน 50° F 200 S 300 จุดที่ 1



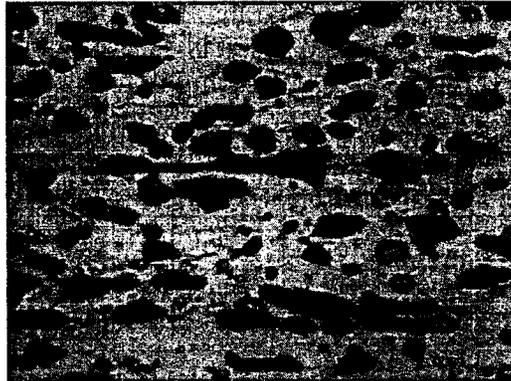
ชั้นที่ 23 มุมชันงาน 50° F 200 S 300 จุดที่ 2



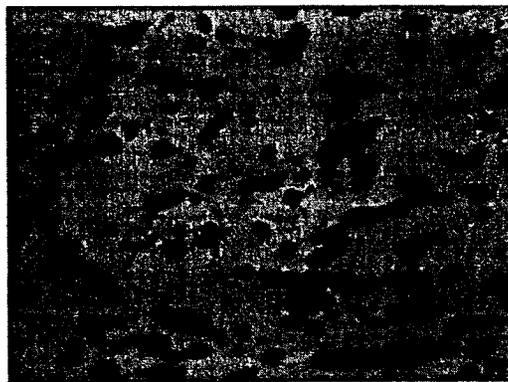
ชั้นที่ 23 มุมชันงาน 50° F 200 S 300 จุดที่ 3



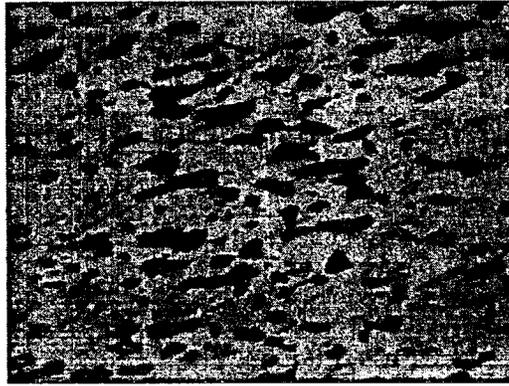
ชั้นที่ 24 มุมชันงาน 50° F 300 S 600 จุดที่ 1



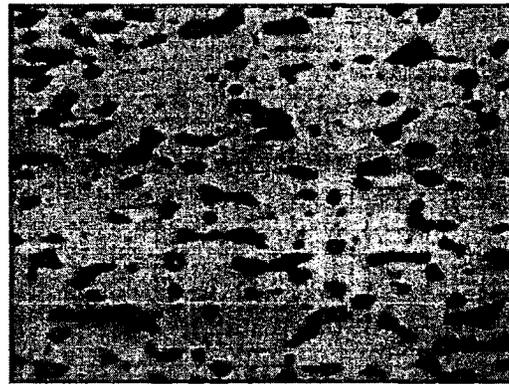
ชั้นที่ 24 มุมชันงาน 50° F 300 S 600 จุดที่ 2



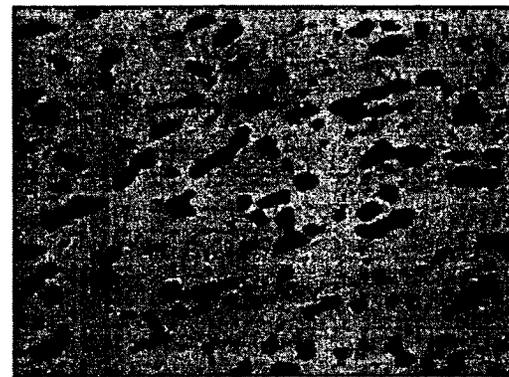
ชั้นที่ 24 มุมชันงาน 50° F 300 S 600 จุดที่ 3



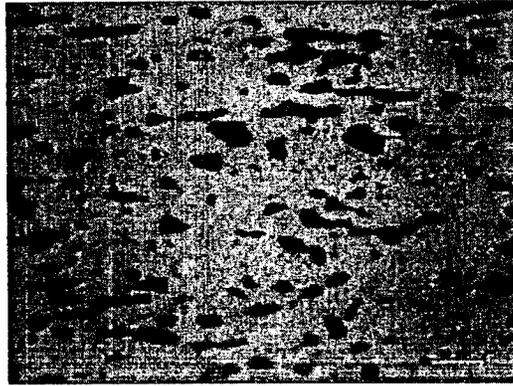
ชั้นที่ 25 มุมชันงาน 50° F 300 S 400 จุดที่ 1



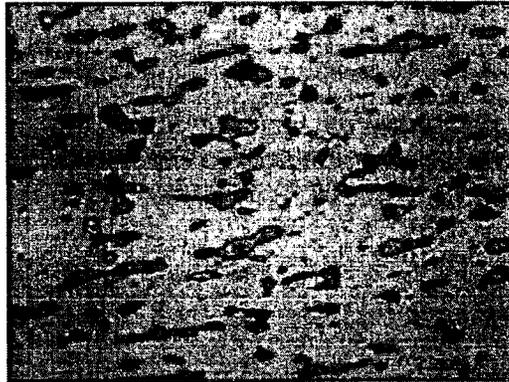
ชั้นที่ 25 มุมชันงาน 50° F 300 S 400 จุดที่ 2



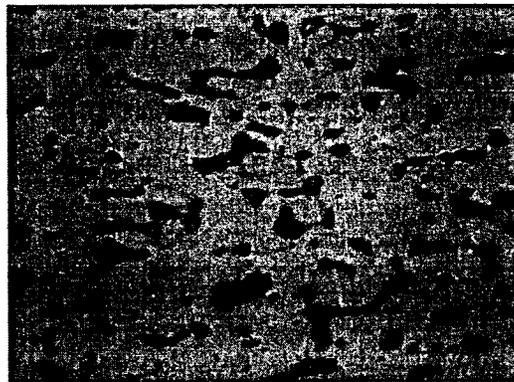
ชั้นที่ 25 มุมชันงาน 50° F 300 S 400 จุดที่ 3



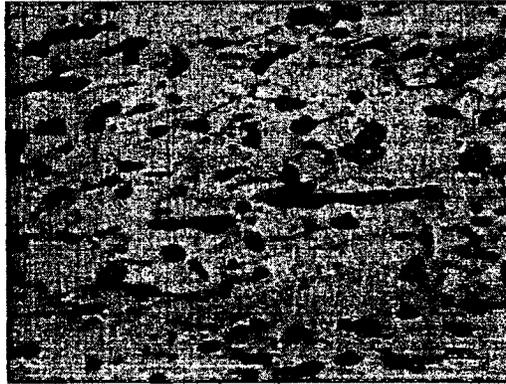
ชั้นที่ 26 มุมขึ้นงาน 50° F 200 S 400 จุดที่ 1



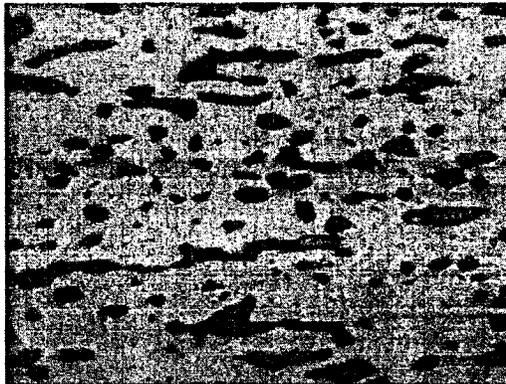
ชั้นที่ 26 มุมขึ้นงาน 50° F 200 S 400 จุดที่ 2



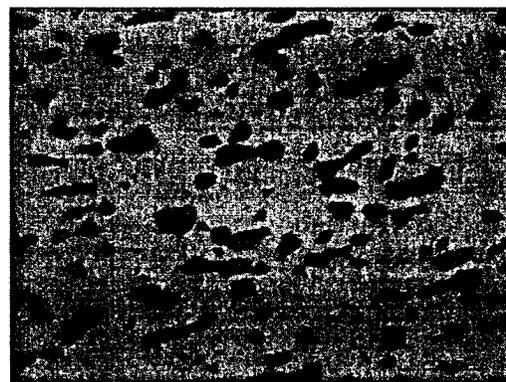
ชั้นที่ 26 มุมขึ้นงาน 50° F 200 S 400 จุดที่ 3



ชั้นที่ 27 มุมชันงาน 50° F 200 S 600 จุดที่ 1



ชั้นที่ 27 มุมชันงาน 50° F 200 S 600 จุดที่ 2



ชั้นที่ 27 มุมชันงาน 50° F 200 S 600 จุดที่ 3

รูป ค.3 ภาพรวม โครงสร้างจุลภาคที่กำลังขยาย 500 เท่าหลังการขึ้นรูป ที่มุม 50 องศา

ภาคผนวก ง  
ผลการทดลองวัดขนาดเกรนก่อนการขึ้นรูป  
ที่ก้ำดั้ขยย 500 เท้า

## Grains - Chord Report



### Sample Data

Date and Time: 15.01.2013 16:20  
 Job Number: normal  
 Number: 30-100-600  
 Description:

### Scaling

Name: 50X.zvss  
 X: 0.125313  $\mu\text{m}/\text{Pixel}$   
 Y: 0.125313  $\mu\text{m}/\text{Pixel}$

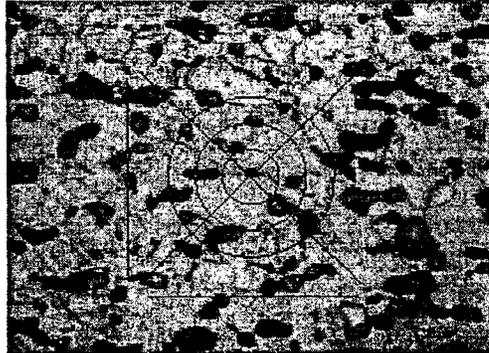
### Image Source

Source Name: Folder Image Source  
 Image Path: C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop  
 Extension: \*  
 Search Path: \*  
 Automatic: No

### Measurement

#### Snapshot 1

Size 9.29



Output Image

### Totals

Size 9.29

### Responsible Persons

Evaluated By:  
 Checked By:

## Grains - Chord Report



### Sample Data

Date and Time: 15.01.2013 16:28  
 Job Number: normal  
 Number: 40-300-200  
 Description:

### Scaling

Name: 50X.zvsa  
 X: 0.125313  $\mu\text{m}/\text{Pixel}$   
 Y: 0.125313  $\mu\text{m}/\text{Pixel}$

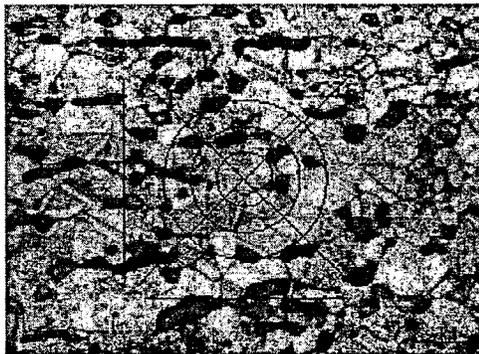
### Image Source

Source Name: Folder Image Source  
 Image Path: C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop  
 Extension: \*  
 Search Path: \*  
 Automatic: No

### Measurement

Snapshot 1

Size 9.29



Output Image

### Totals

Size 9.29

### Responsible Persons

Evaluated By:  
 Checked By:

## Grains - Chord Report



### Sample Data

Date and Time: 15.01.2013 16:32  
 Job Number: normal  
 Number: 50-300-600  
 Description:

### Scaling

Name: 50X.zvso  
 X: 0.125313  $\mu\text{m}/\text{Pixel}$   
 Y: 0.125313  $\mu\text{m}/\text{Pixel}$

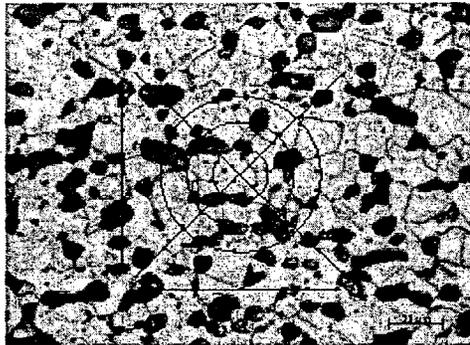
### Image Source

Source Name: Folder Image Source  
 Image Path: C:\Documents and Settings\Administrator\Desktop  
 Extension: \*  
 Search Path: \*  
 Automatic: No

### Measurement

Snapshot 1

Size 9.48



Output Image

### Totals

Size 9.48

### Responsible Persons

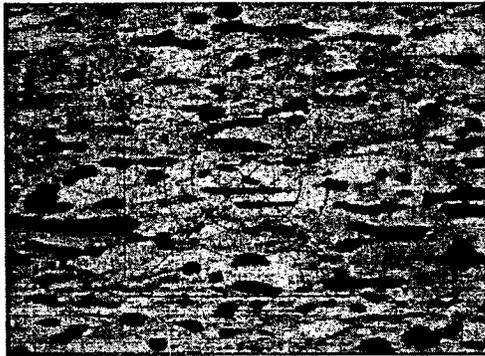
Evaluated By:  
 Checked By:

รูป ง.3 ผลการทดลองวัดขนาดเกรนก่อนการขึ้นรูปที่กำลังขยาย 500 เท่า ที่มุม 50 องศา

ภาคผนวก จ  
ผลการทดลองวัดขนาดเกรนหลังการขึ้นรูป  
ที่กำลังขยาย 500 เท่า

Snapshot 1

Size 10.61

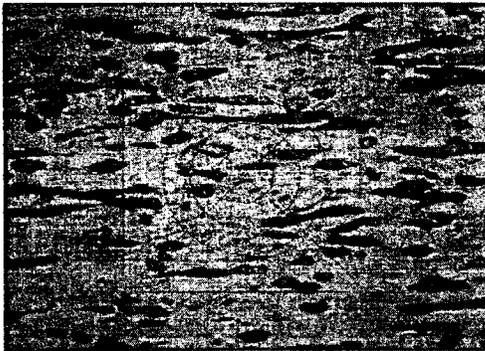


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.79

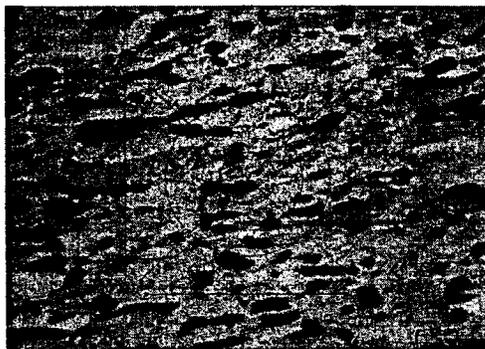


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.48



Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 1

Size 10.70

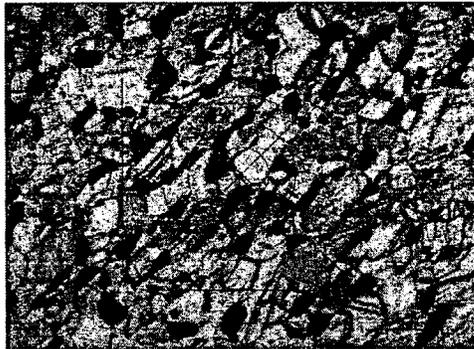


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.16

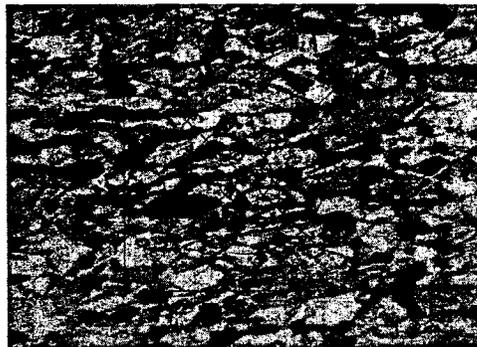


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.85

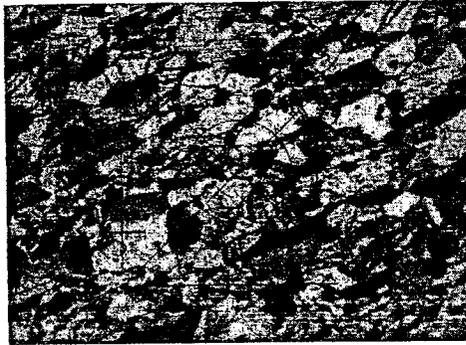


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 1

Size 10.73



Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.37

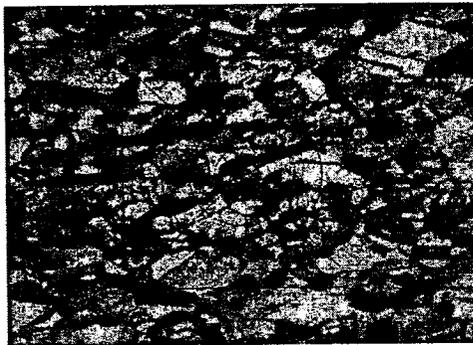


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.54

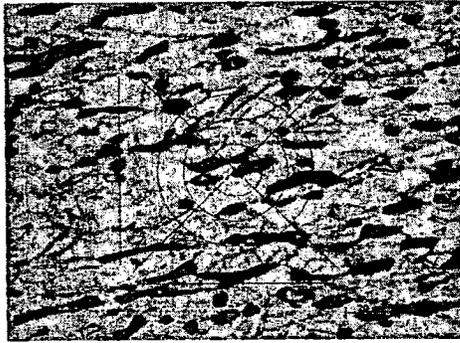


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 2

Size 10.19

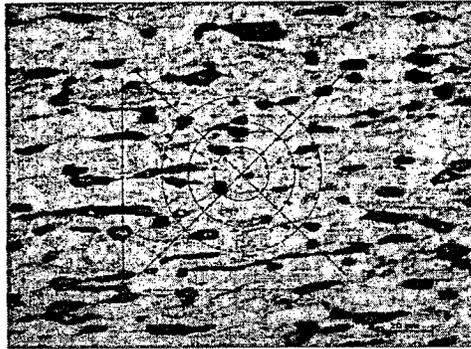


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.70

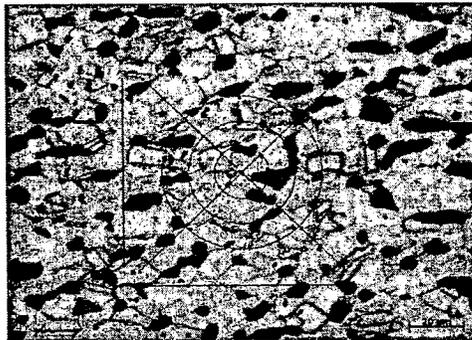


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 3

Size 10.37



Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 3

Snapshot 1

Size 10.61

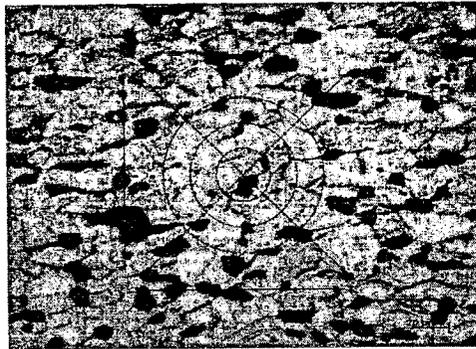


Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.67



Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.82

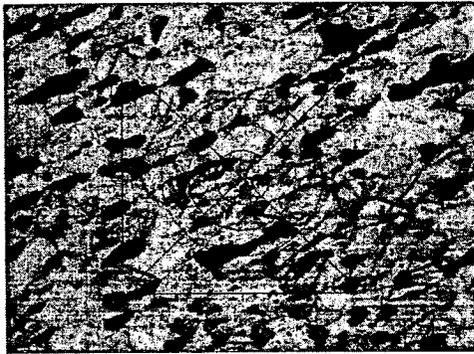


Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.73

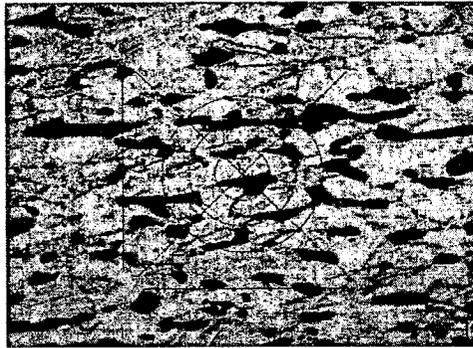


Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.70

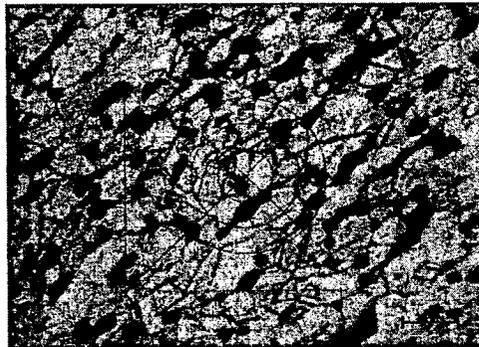


Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.91

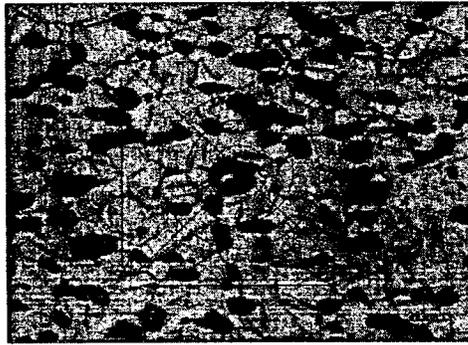


Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 400 จุดที่ 3

Snapshot 1

Size 10.30

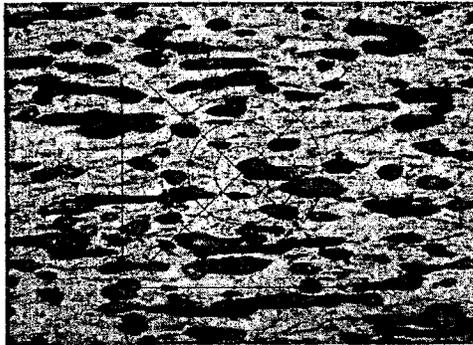


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.08

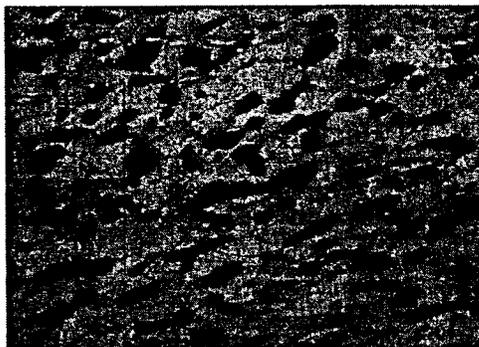


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.27

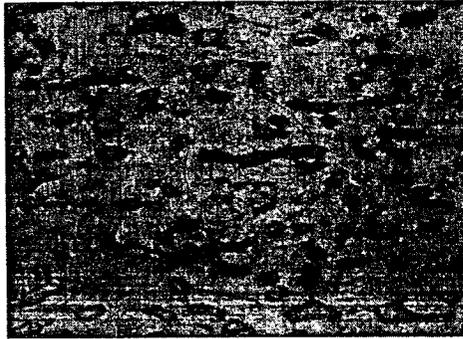


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

Snapshot 1

Size 10.44



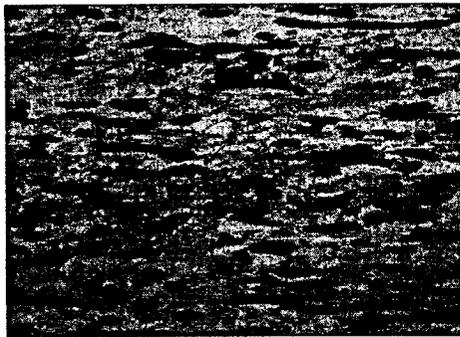
Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Measurement

Snapshot 1

Size 10.44



Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.41

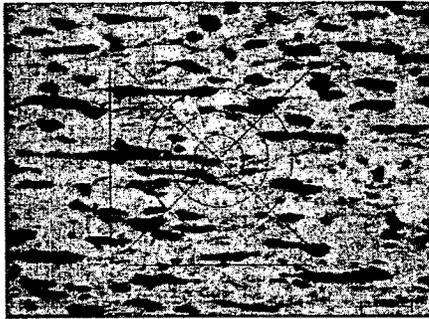


Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.79

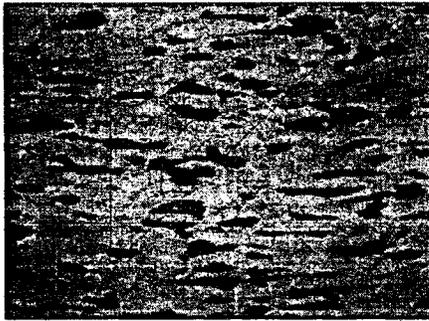


Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 2

Size 10.54



Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.70



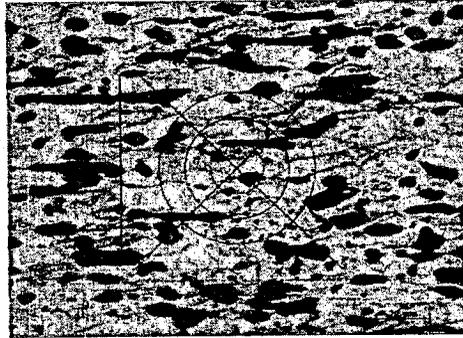
Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 30, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

รูป จ.1 ผลการทดลองวัดขนาดเกรนหลังการขึ้นรูปที่กำลังขยาย 500 เท่า ที่มุม 30 องศา

Snapshot 3

Size 10.51

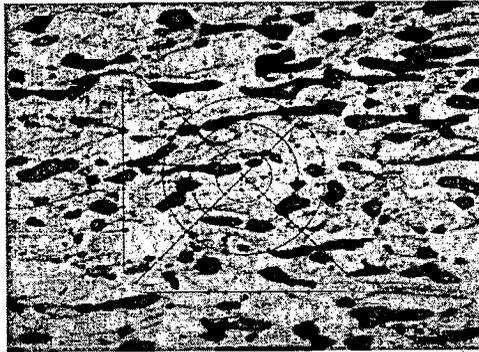


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.64

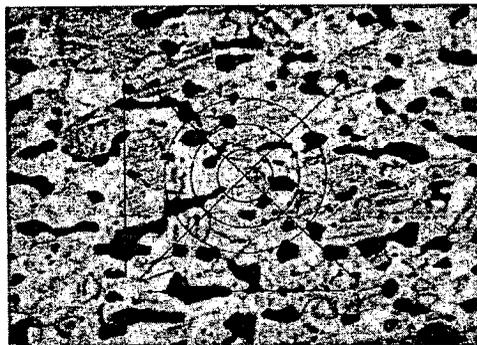


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.30

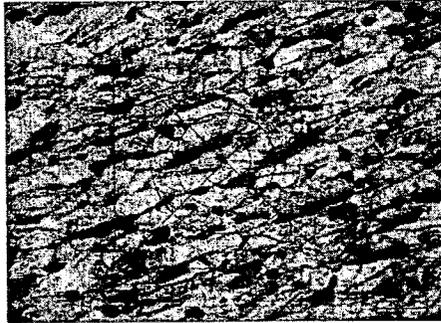


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.67

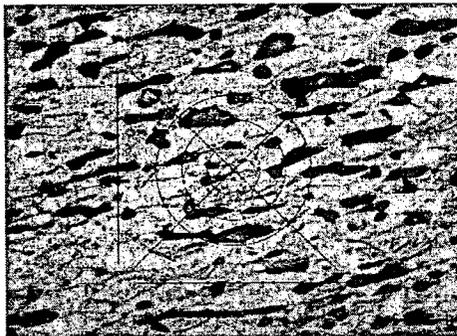


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 2

Size 10.97

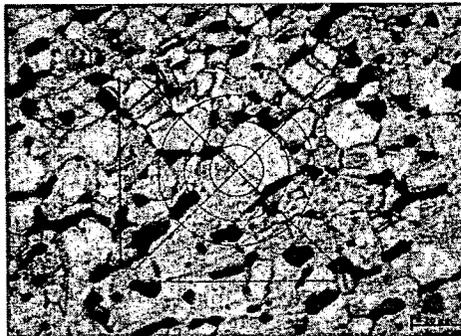


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.12

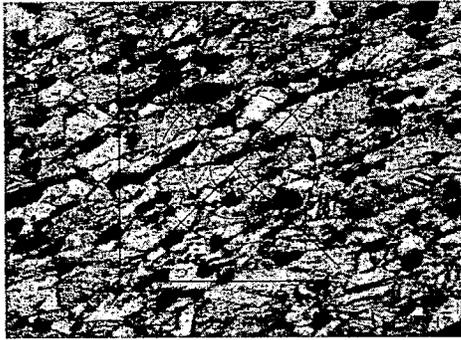


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.41

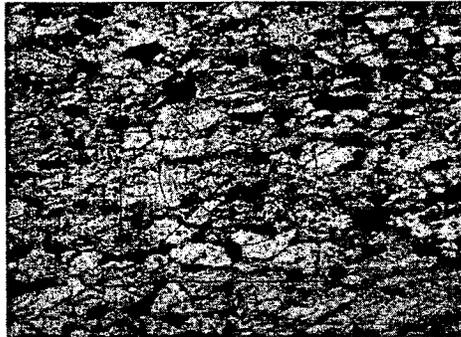


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 2

Size 9.88

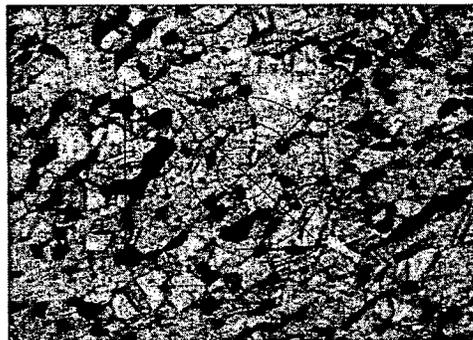


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.00

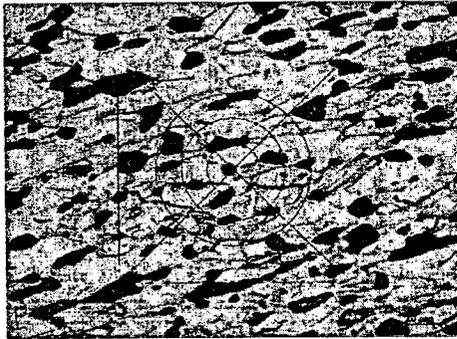


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.61

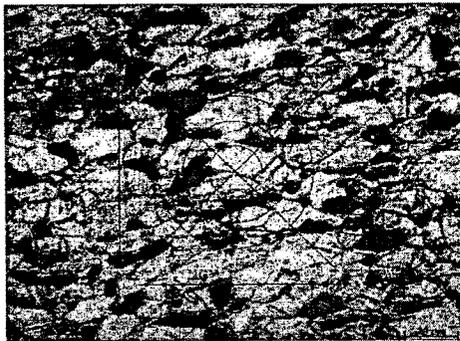


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.70

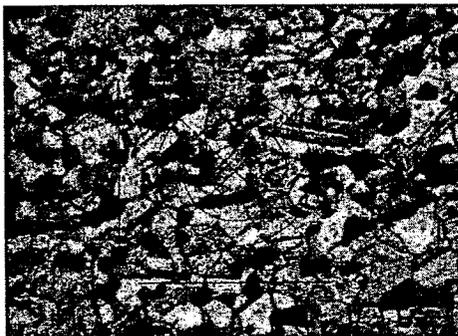


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.08

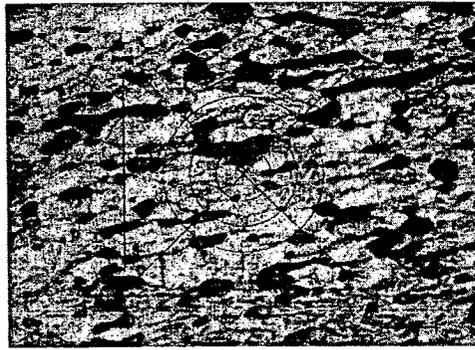


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 9.92



Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.76

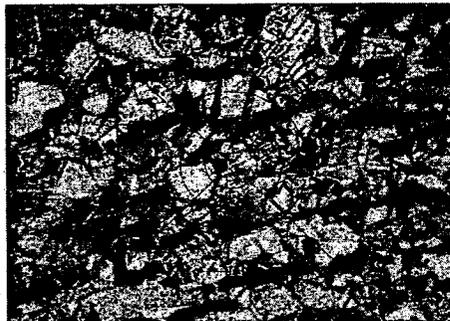


Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.16

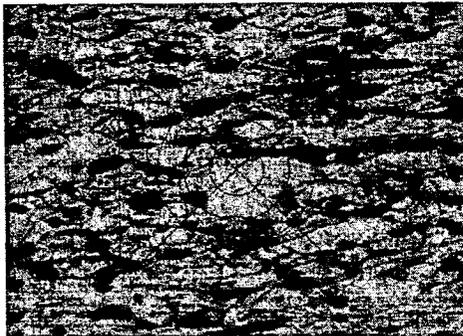


Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.12

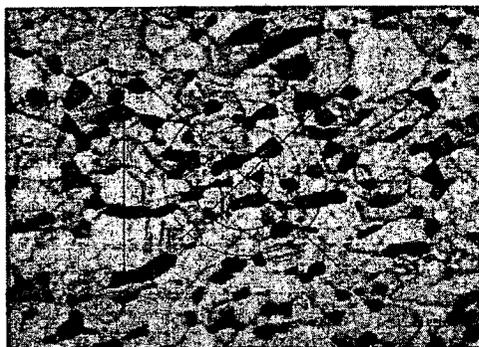


Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 400, ความเร็ว 300 จุดที่ 1

Snapshot 2

Size 10.54

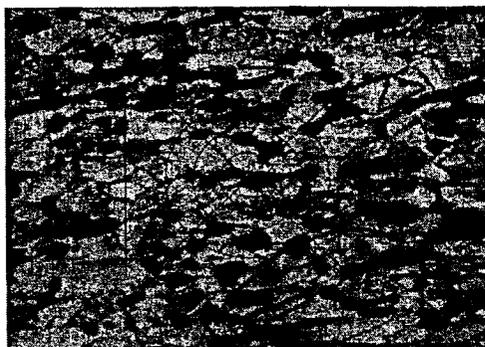


Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 400, ความเร็ว 300 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.54

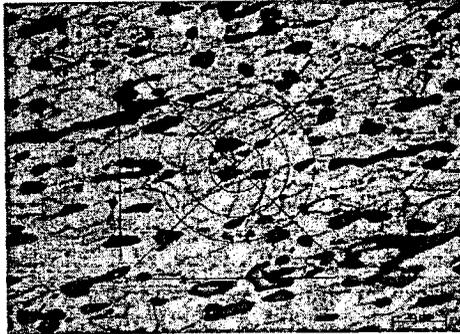


Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 400, ความเร็ว 300 จุดที่ 3

Snapshot 2

Size 10.23

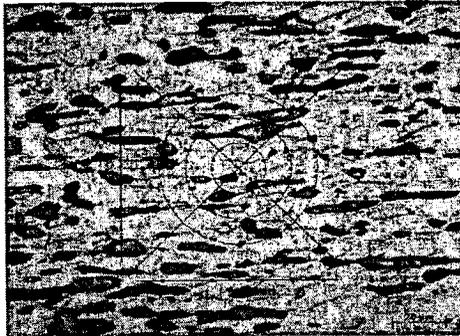


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.91

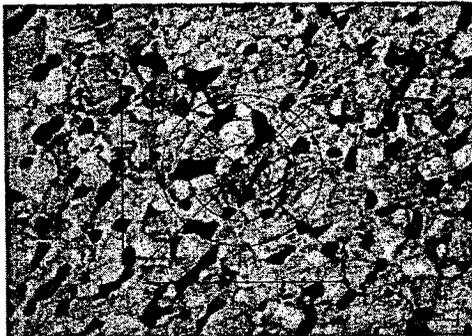


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 3

Size 10.34

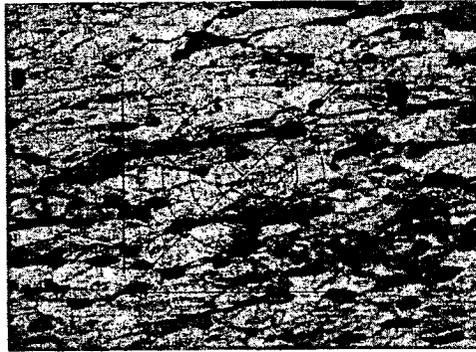


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

Snapshot 2

Size 10.76

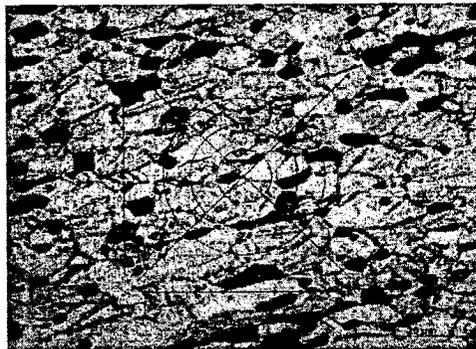


Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.70

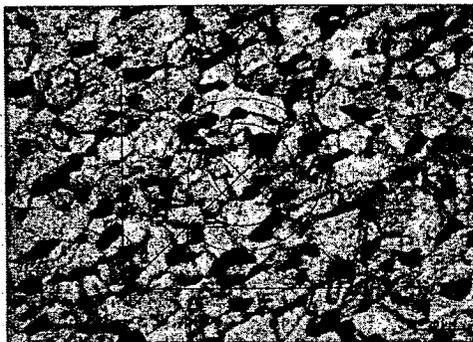


Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 3

Size 10.30

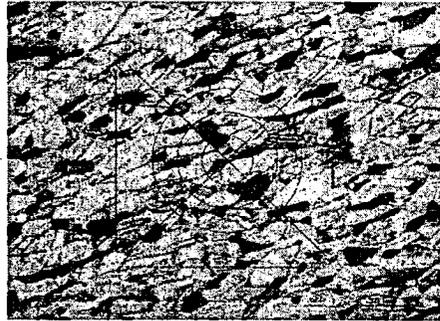


Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

Snapshot 2

Size 10.73

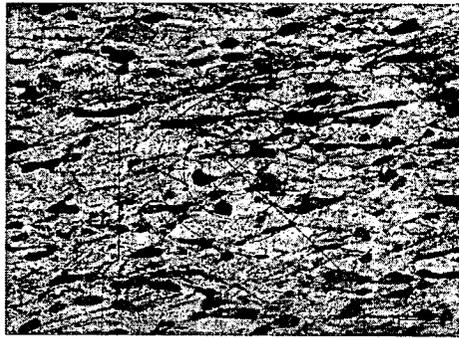


Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.19

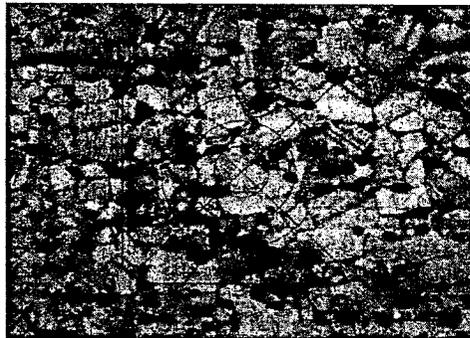


Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 3

Size 10.61



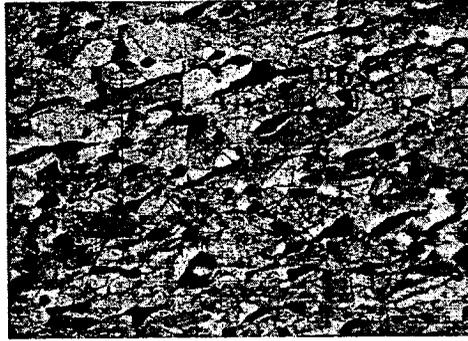
Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 40, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

รูป จ.2 ผลการทดลองวัดขนาดเกรนหลังการขึ้นรูปที่กำลังขยาย 500 เท่า ที่มุม 40 องศา

Snapshot 3

Size 10.23

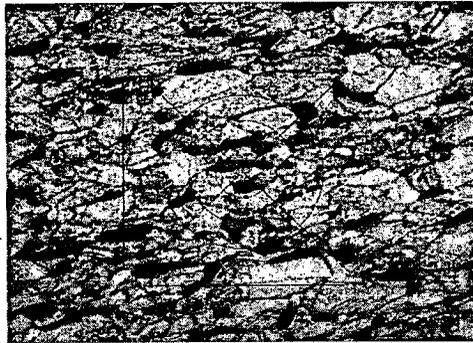


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.85

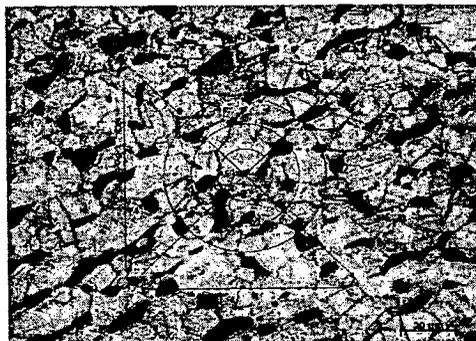


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.73

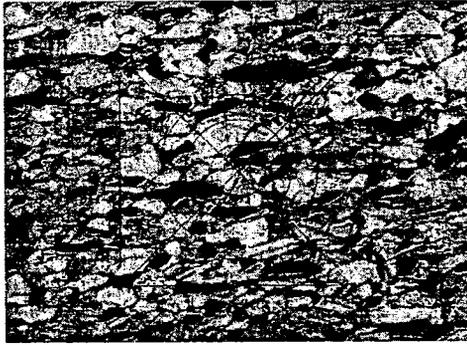


Output Image

ชั้นที่ 1 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.76

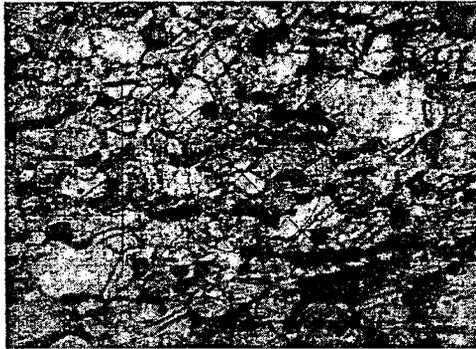


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.37

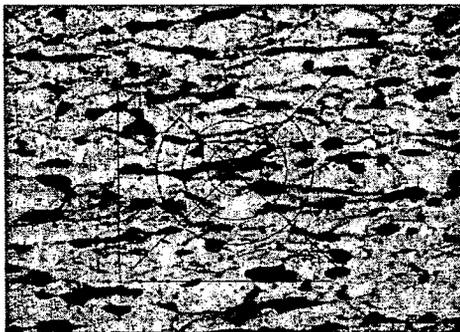


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.34

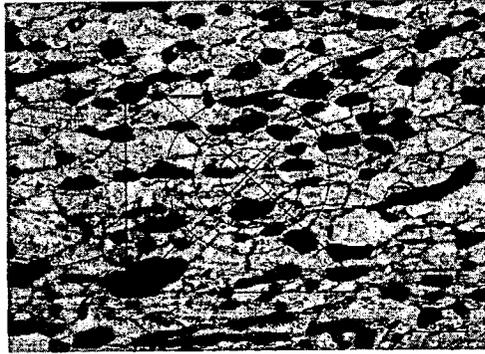


Output Image

ชั้นที่ 2 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.61

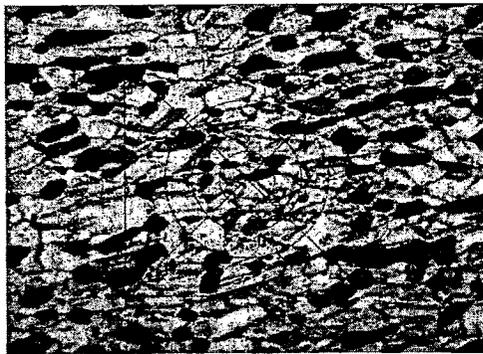


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 1

Snapshot 2

Size 10.64

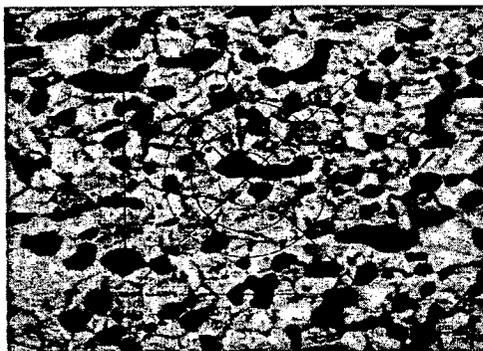


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 2

Snapshot 1

Size 10.91

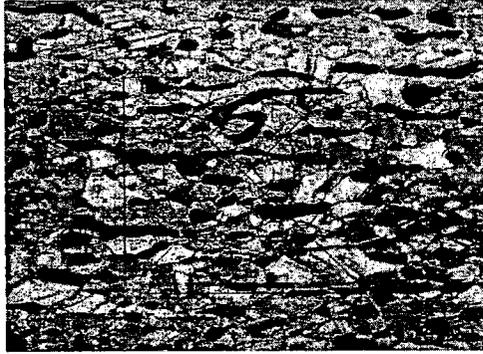


Output Image

ชั้นที่ 3 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 200 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.61

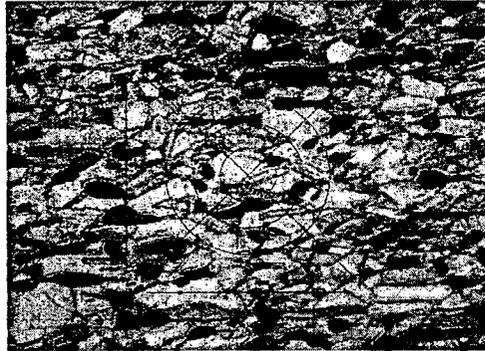


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.97

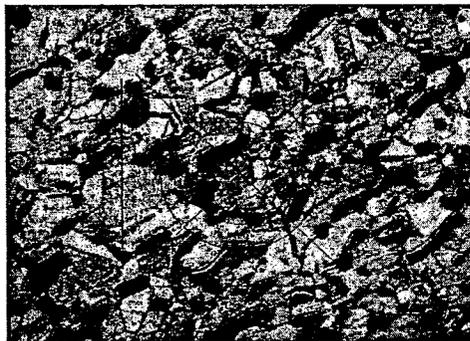


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.64

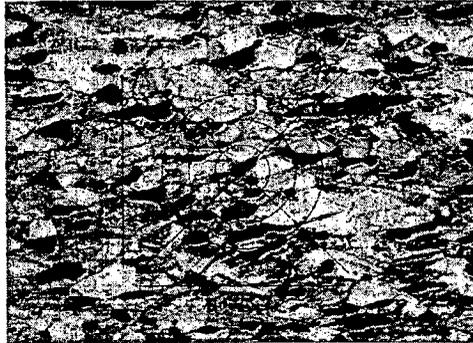


Output Image

ชั้นที่ 4 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 400 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 11.08



Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.79

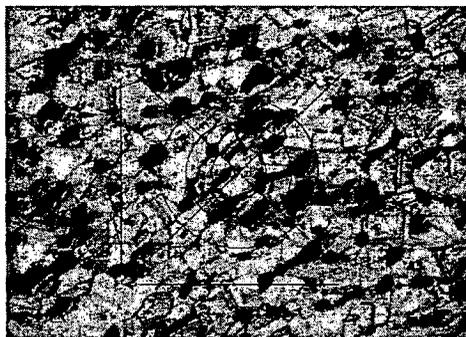


Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.67

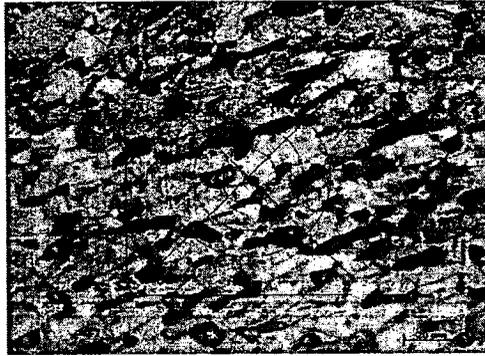


Output Image

ชั้นที่ 5 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 400 จุดที่ 3

Snapshot 3

Size 10.23



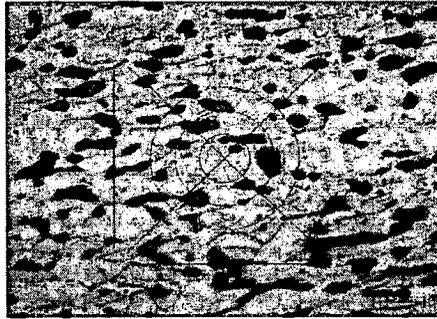
Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 400 จุดที่ 1

Measurement

Snapshot 1

Size 10.16

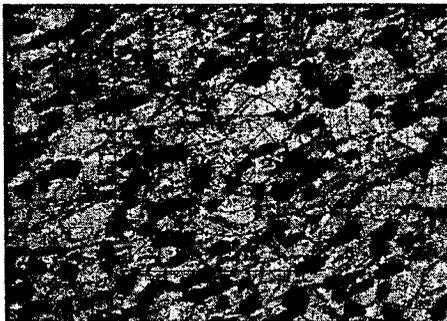


Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 400 จุดที่ 2

Snapshot 2

Size 10.79



Output Image

ชั้นที่ 6 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 400 จุดที่ 3

Snapshot 2

Size 10.88

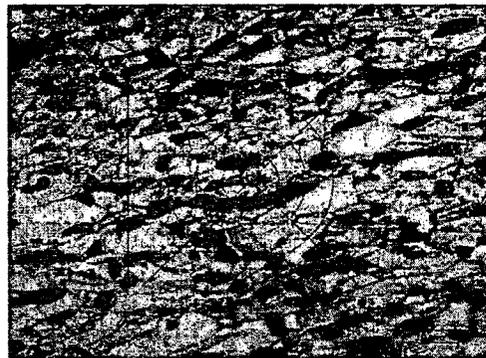


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 11.31

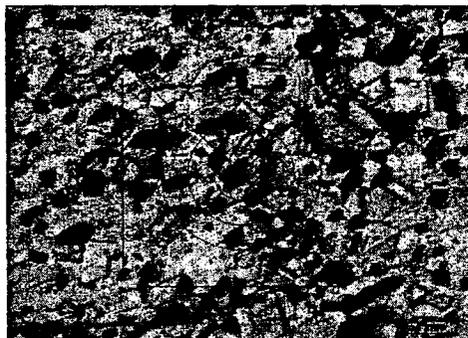


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 3

Size 10.37

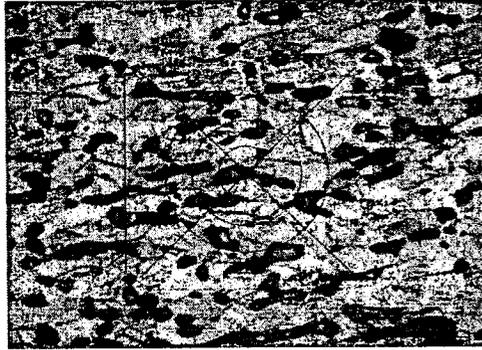


Output Image

ชั้นที่ 7 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 100, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

Snapshot 2

Size 10.61

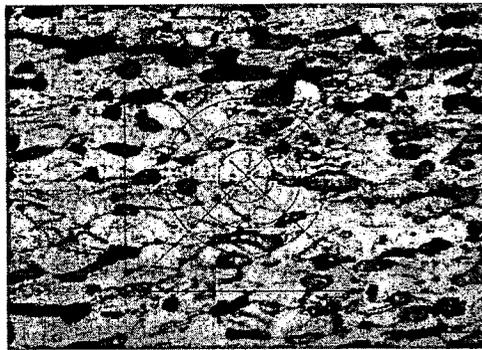


Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.57

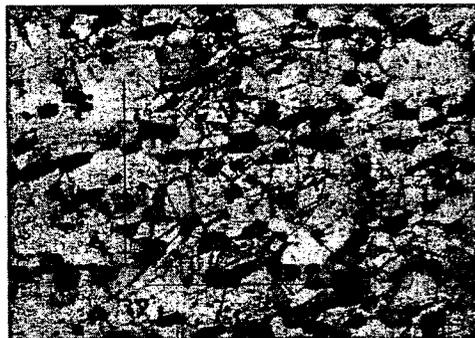


Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 3

Size 10.64

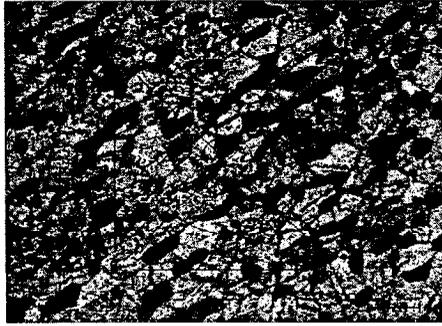


Output Image

ชั้นที่ 8 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 200, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

Snapshot 2

Size 10.64

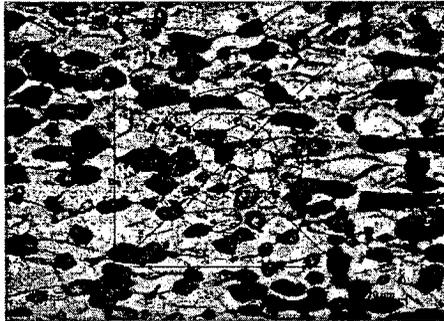


Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 1

Snapshot 1

Size 10.67

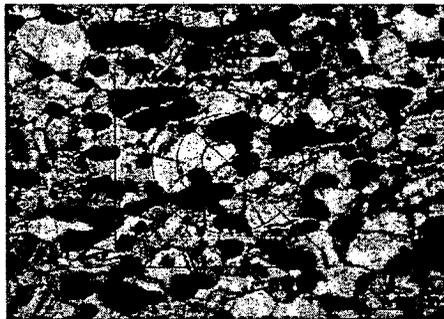


Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 2

Snapshot 3

Size 10.61



Output Image

ชั้นที่ 9 มุม 50, อัตราการเคลื่อน 300, ความเร็ว 600 จุดที่ 3

รูป จ.3 ผลการทดลองวัดขนาดเกรนหลังการขึ้นรูปที่กำลังขยาย 500 เท่า ที่มุม 50 องศา

**ภาคผนวก จ**  
**ข้อมูลการทดลอง**

ตารางที่ ฉ.1 ผลการทดลองการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ชั้นที่ 1	0.60	0.56	0.30	0.21	0.32	0.61	0.35	0.20	0.31	0.53	0.60
ชั้นที่ 2	0.63	0.51	0.30	0.20	0.33	0.59	0.34	0.20	0.30	0.53	0.61
ชั้นที่ 3	0.59	0.54	0.30	0.22	0.30	0.59	0.32	0.22	0.30	0.54	0.60
ค่าเฉลี่ย ความหนา (มิลลิเมตร)	0.61	0.54	0.30	0.21	0.32	0.60	0.34	0.21	0.30	0.53	0.60

ตารางที่ ฉ.2 ผลการทดลองการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ชั้นที่ 1	0.60	0.54	0.40	0.32	0.54	0.60	0.54	0.32	0.40	0.54	0.60
ชั้นที่ 2	0.60	0.54	0.43	0.31	0.53	0.61	0.54	0.33	0.40	0.53	0.60
ชั้นที่ 3	0.62	0.56	0.41	0.32	0.51	0.60	0.53	0.32	0.42	0.55	0.60
ค่าเฉลี่ย ความหนา (มิลลิเมตร)	0.61	0.55	0.41	0.32	0.53	0.60	0.54	0.32	0.41	0.54	0.60

ตารางที่ ๓.3 ผลการทดลองการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ชั้นที่ 1	0.60	0.55	0.44	0.42	0.54	0.61	0.55	0.50	0.45	0.56	0.60
ชั้นที่ 2	0.60	0.57	0.44	0.43	0.57	0.61	0.57	0.50	0.43	0.55	0.60
ชั้นที่ 3	0.60	0.54	0.42	0.42	0.55	0.60	0.55	0.49	0.47	0.55	0.60
ค่าเฉลี่ย ความหนา (มิลลิเมตร)	0.60	0.55	0.43	0.42	0.55	0.61	0.56	0.50	0.45	0.55	0.60

ตารางที่ ๓.4 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไม่วางที่มุม 30 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ปัจจัยการทำงาน  ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 30 องศา											
	อัตราความเครียดหลัก %											
	จุดที่ 1			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 2			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 3			ค่าเฉลี่ย
100/200	50%	55%	55%	56.67%	100%	100%	100%	100%	5%	-5%	-5%	-1.67%
200/200	50%	45%	45%	46.67%	100%	105%	105%	103.33%	-5%	-5%	5%	-1.67%
300/200	50%	50%	50%	50%	105%	110%	105%	106.67%	0%	-5%	5%	0%
100/400	60%	60%	55%	58.33%	105%	105%	105%	105%	5%	-5%	5%	-1.67%
200/400	60%	60%	60%	60%	105%	105%	105%	105%	0%	-5%	0%	-1.67%
300/400	55%	60%	55%	56.67%	110%	110%	105%	108.33%	-5%	-5%	5%	-1.67%
100/600	50%	45%	50%	48.33%	110%	115%	110%	111.67%	5%	-5%	0%	0%
200/600	60%	60%	55%	58.33%	110%	110%	110%	110%	5%	-5%	0%	0%
300/600	55%	50%	55%	53.33%	110%	110%	105%	118.33%	0%	-5%	0%	-1.67%

ตารางที่ จ.5 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป จุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรมที่มุม 30 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ความเร็วในการเคลื่อนที่	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 30 องศา
	อัตราความเครียดหลัก % (จุดที่ 2)

	ความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที			ค่าเฉลี่ย	ความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที			ค่าเฉลี่ย	ความเร็วในการหมุน 600 รอบต่อนาที			ค่าเฉลี่ย
100 มิลลิเมตร ต่อนาที	112.65%	111.59%	110.76%	111.59%	105.50%	110.80%	103.41%	106.57%	115.32%	117.34%	116.20%	116.29%
200 มิลลิเมตร ต่อนาที	111.56%	110.28%	110.23%	110.69%	111.30%	110.24%	112.25%	111.26%	115.12%	115.20%	114.95%	115.09%
300 มิลลิเมตร ต่อนาที	112.79%	111.88%	112.10%	112.26%	117.58%	118.48%	119.41%	118.49%	116.59%	113.88%	112.48%	113.65%

ตารางที่ ๓.6 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไม้ล่าที่มุม 40 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ปัจจัยการทำงาน  ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 40 องศา											
	อัตราความเครียดหลัก %											
	จุดที่ 1			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 2			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 3			ค่าเฉลี่ย
100/200	30%	35%	35%	33.33%	50%	50%	50%	50%	5%	-5%	5%	1.67%
200/200	50%	50%	50%	50%	55%	60%	60%	58.33%	0%	-5%	5%	0%
300/200	50%	45%	45%	46.67%	55%	60%	55%	56.67%	0%	-5%	0%	-1.67%
100/400	45%	40%	45%	43.33%	55%	50%	50%	51.67%	5%	-5%	0%	0%
200/400	40%	40%	45%	41.67%	50%	55%	55%	53.33%	0%	-5%	5%	0%
300/400	35%	40%	40%	38.33%	55%	55%	55%	55%	5%	-5%	5%	1.67%
100/600	35%	35%	40%	36.67%	50%	50%	55%	51.67%	0%	-5%	-5%	-3.33%
200/600	40%	40%	45%	41.67%	50%	55%	50%	51.67%	0%	-5%	-5%	-3.33%
300/600	50%	45%	45%	46.67%	50%	55%	55%	53.33%	0%	-5%	0%	-1.67%

ตารางที่ ๗.7 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป จุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรมที่มุม 40 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ความเร็วในการเคลื่อนที่	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 40 องศา											
	อัตราความเครียดหลัก % (จุดที่ 2)											
	ความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที			ค่าเฉลี่ย	ความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที			ค่าเฉลี่ย	ความเร็วในการหมุน 600 รอบต่อนาที			ค่าเฉลี่ย
100 มิลลิเมตร ต่อนาที	58.41%	59.32%	58.73%	58.81%	59.12%	59.40%	58.67%	59.06%	60.21%	61.17%	61.54%	61.17%
200 มิลลิเมตร ต่อนาที	61.81%	61.52%	60.64%	61.67%	60.52%	60.14%	59.43%	60.14%	61.98%	62.12%	61.58%	61.89%
300 มิลลิเมตร ต่อนาที	64.01%	63.76%	63.51%	63.76%	62.20%	61.76%	61.87%	61.94%	62.14%	62.08%	62.45%	62.22%

ตารางที่ ๘.8 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไม้อัดที่มุม 50 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ปัจจัยการทำงาน  ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 50 องศา											
	อัตราความเครียดหลัก %											
	จุดที่ 1			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 2			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 3			ค่าเฉลี่ย
100/200	25%	30%	30%	56.67%	30%	35%	35%	100%	0%	-5%	-5%	-3.33%
200/200	25%	25%	30%	46.67%	35%	30%	30%	103.33%	0%	-5%	0%	-1.67%
300/200	35%	30%	30%	50%	35%	35%	35%	106.67%	5%	-5%	-5%	-1.67%
100/400	30%	30%	30%	58.33%	30%	30%	30%	105%	5%	-5%	5%	1.67%
200/400	30%	30%	35%	60%	35%	30%	35%	105%	0%	-5%	5%	0%
300/400	25%	25%	30%	56.67%	35%	35%	30%	108.33%	5%	-5%	0%	0%
100/600	25%	25%	25%	48.33%	35%	30%	30%	111.67%	0%	-5%	0%	-1.67%
200/600	25%	25%	30%	58.33%	35%	35%	30%	110%	-5%	-5%	-5%	-5%
300/600	30%	30%	25%	53.33%	35%	30%	35%	118.33%	-5%	-5%	0%	-3.33%

ตารางที่ จ.9 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป จุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ที่มุม 50 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ความเร็วในการเคลื่อนที่	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 50 องศา											
	อัตราความเครียดหลัก % (จุดที่ 2)											

	ความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที				ความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที				ความเร็วในการหมุน 600 รอบต่อนาที			
	ค่าเฉลี่ย		ค่าเฉลี่ย		ค่าเฉลี่ย		ค่าเฉลี่ย		ค่าเฉลี่ย		ค่าเฉลี่ย	
100 มิลลิเมตร ต่อนาที	33.10%	33.04%	32.51 %	32.88%	31.95%	32.48%	32.48%	32.30%	30.45%	30.12%	30.10%	30.22%
200 มิลลิเมตร ต่อนาที	31.25%	31.88%	31.54 %	31.57%	32.41	32.04	32.54	32.33%	32.45	33.12	33.21	32.93%
300 มิลลิเมตร ต่อนาที	35.17	38.80	35.52	35.50%	35.32	35.60	35.01	35.31%	33.30	33.60	33.87	33.53%

ตารางที่ ฉ.10 อัตราความเครียดรอง (%)

ปัจจัยการทำงาน ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 30 องศา											
	อัตราความเครียดรอง %											
	จุดที่ 1			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 2			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 3			ค่าเฉลี่ย
100/200	5%	0%	5%	3.33%	5%	0%	5%	3.33%	0%	-5%	0%	1.67%
200/200	0%	0%	5%	1.67%	0%	10%	5%	5%	5%	0%	5%	3.33%
300/200	5%	5%	0%	3.33%	5%	0%	0%	1.67%	-5%	0%	0%	-1.67%
100/400	5%	0%	0%	1.67%	0%	0%	5%	1.67%	0%	-5%	5%	0%
200/400	0%	5%	5%	3.33%	5%	5%	0%	3.33%	5%	0%	0%	1.67%
300/400	5%	0%	5%	3.33%	0%	5%	5%	3.33%	-5%	0%	0%	-1.67%
100/600	0%	0%	5%	1.67%	5%	5%	5%	5%	0%	-5%	0%	0%
200/600	5%	0%	0%	1.67%	0%	0%	5%	1.67%	0%	0%	-5%	-1.67%
300/600	0%	0%	5%	1.67%	0%	5%	5%	3.33%	0%	0%	0%	0%

ตารางที่ ฉ.11 อัตราความเครียดรอง (%)

ปัจจัยการทำงาน  ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 40 องศา											
	อัตราความเครียดรอง %											
	จุดที่ 1			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 2			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 3			ค่าเฉลี่ย
100/200	5%	0%	0%	1.67%	0%	5%	5%	3.33%	5%	0%	0%	1.67%
200/200	5%	5%	0%	3.33%	0%	0%	5%	1.67%	0%	5%	0%	1.67%
300/200	5%	0%	0%	1.67%	5%	5%	0%	3.33%	0%	0%	0%	0%
100/400	5%	5%	0%	3.33%	5%	5%	5%	5%	-5%	0%	5%	0%
200/400	5%	5%	0%	3.33%	0%	0%	5%	1.67%	5%	0%	0%	1.67%
300/400	5%	0%	0%	1.67%	5%	0%	0%	1.67%	-5%	0%	0%	-1.67%
100/600	-5%	5%	0%	0%	0%	5%	0%	1.67%	-5%	5%	0%	0%
200/600	5%	0%	0%	1.67%	5%	5%	0%	3.33%	5%	0%	-5%	0%
300/600	0%	5%	0%	1.67%	0%	0%	5%	1.67%	0%	-5%	0%	-1.67%

ตารางที่ น.12 อัตราความเครียดรอง (%)

ปัจจัยการทำงาน ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 50 องศา											
	อัตราความเครียดรอง %											
	จุดที่ 1			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 2			ค่าเฉลี่ย	จุดที่ 3			ค่าเฉลี่ย
100/200	5%	0%	5%	3.33%	5%	0%	5%	3.33%	0%	0%	5%	3.33%
200/200	5%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	3.33%	0%	5%	0%	1.67%
300/200	0%	5%	5%	3.33%	0%	5%	0%	1.67%	0%	0%	5%	1.67%
100/400	0%	0%	5%	1.67%	5%	5%	0%	3.33%	0%	5%	5%	3.33%
200/400	0%	5%	0%	1.67%	0%	5%	5%	3.33%	0%	5%	0%	1.67%
300/400	0%	5%	5%	3.33%	0%	5%	0%	1.67%	5%	0%	0%	1.67%
100/600	0%	5%	5%	3.33%	0%	0%	5%	1.67%	5%	5%	0%	3.33%
200/600	0%	5%	5%	3.33%	0%	0%	5%	1.67%	0%	5%	0%	1.67%
300/600	0%	0%	5%	1.67%	5%	5%	5%	5%	5%	0%	5%	0%

**ภาคผนวก ข**  
**การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ**  
**IE Network Conference 2013**



คณะบริหารธุรกิจ  
มหาวิทยาลัยศิลปากร

ร่วมกับ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมและการจัดการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม  
มหาวิทยาลัยศิลปากร

Proceedings

**IB Network Conference 2013**

**Green Productivity and Innovation**

16 - 18 ตุลาคม 2556

โรงแรม เอวิ้น เดอะ รอยัล กรุ๊ป พัทยา ชลบุรี

# การวิเคราะห์ความเครียดของการขึ้นรูปโลหะแผ่นทองเหลืองโดยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องแบบสัมผัสเป็นจุดโดยการทำงานด้วยระบบซีเอ็นซี

## An Analysis of Strain of Brass Sheet Metal Forming by Single Point Incremental Forming Process on Computer Numerical Control

จงกล สุภารัตน์<sup>1</sup>ศิริชัย ต่อกุล<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีปทุมธานี

E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th

Chongkol Supharattana<sup>1</sup>Sirichai Torsakul<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala University of Technology

ThanyaburiPhatumtani

E-mail: sirichai.to@en.rmutt.ac.th

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่มีผลการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดโดยจะทำการศึกษาการขึ้นรูปโดยใช้วัสดุ แผ่นโลหะทองเหลือง โดยกำหนดค่าคงที่ต่างๆที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ ความเร็วในการหมุนของความเร็วรอบ ความเร็วในการเดินขึ้นรูป และอัตราการเคลื่อนที่ของพังก์ที่ใช้ในการขึ้นรูป จากการทดลองความเครียดวงกลมกริดเดิมก่อนขึ้นรูปมาตรฐาน คือ 2.50 มิลลิเมตรหลังการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาทีและความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที จะมีค่าความเครียดหลักสูงสุดที่วัดได้คือ 118.49% ที่มุม 40 องศา ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 รอบต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาทีจะมีค่าความเครียดหลักสูงสุดที่วัดได้คือ 63.76% ที่มุม 50 องศา ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาทีจะมีค่าความเครียดหลักสูงสุดที่วัดได้คือ 35.50% ในปัจจัยการขึ้นรูปทั้งหมด ค่าที่ได้จากการทดลองวัดขนาดโครงสร้างของเกรน จะมีค่าโดยเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมาก ในทุกจุดที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด คำหลัก กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดค่าความเครียดหลักสูงสุด

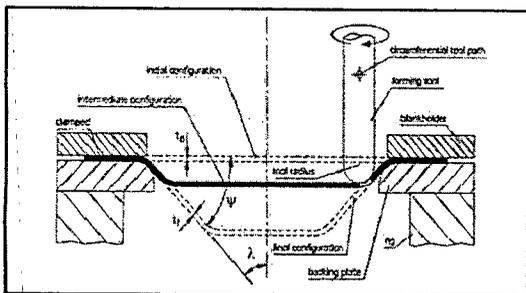
### Abstract

This research has been studied through factors in which affecting to the single point incremental forming process by forming brass sheet with determined parameters such as rotation speed, forming speed and forming ratio which were to be used in the forming. Based on the experiment, the circle grid strain before standard forming was 2.50 mm; however when the material was formed at the 30 degree angle, 300 mm/min forming speed and 400 rpm rotation speed, the maximum major strain was 118.49% . At the 40 degree angle, with 300 mm/min forming speed and 200 rpm rotation speed, the major strain was 63.76%. At the 50 degree angle, with 300 mm/min forming speed and 200 rpm rotation speed, the major strain was 35.50%. All factors in forming process, the average values of grain size structure are very similar in all points on the single point incremental forming process.

**Keywords:** Sheet metal forming, Single incremental forming process, Maximum major strain

## 1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะแผ่นยังเป็นกระบวนการที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการผลิต ซึ่งในการที่จะผลิตให้ได้ซึ่งการแปรรูปโลหะแผ่นให้มีขนาดรูปร่างให้เป็นไปตามที่ต้องการนั้น กระบวนการที่ใช้ในการขึ้นรูป จะประกอบไปด้วยขั้นตอนในการทำงานในหลาย ๆ ส่วน เช่น ขั้นตอนการออกแบบ ขั้นตอนการผลิต การแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป ซึ่งแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะแผ่นนั้นมีความซับซ้อนในการผลิต และมีราคาสูง ดังนั้นจึงมีการนำเสนอแนวคิดใหม่ ในกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะแผ่นโดยไม่มีการใช้แม่พิมพ์ขึ้นรูป [1] โดยในการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบใหม่นั้น จะมีการใช้กำลังในการขึ้นรูปแผ่นโลหะน้อยกว่ากระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นแบบเดิมเป็นอย่างมาก และอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปก็มีขั้นตอนการผลิตที่มีซับซ้อนน้อยลงนั้นก็คือกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุดกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุดเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบใหม่ที่มีมีความสามารถในการขึ้นรูปโลหะแผ่นได้อย่างรวดเร็ว และ มีความซับซ้อนในกระบวนการผลิตน้อยกว่าแบบเดิมมากโดยองค์ประกอบหลักของกระบวนการ กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องโดยการสัมผัสเป็นจุด จะประกอบไปด้วย แผ่นโลหะที่ใช้ในการขึ้นรูป, อุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป, อุปกรณ์จับยึดแผ่นโลหะ และมีลักษณะการทำงานดังต่อไปนี้คือ มีการใช้ อุปกรณ์ขึ้นรูป รูปทรงกระบอกที่มีปลายเป็นรัศมีโค้งและหมุนด้วยความเร็วรอบที่กำหนดและทำการเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางการทำงานที่ถูกกำหนดด้วย ระบบคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM) แล้วทำการกดขึ้นรูปลง บนพื้นผิวแผ่นชิ้นงานโลหะที่ถูกจับยึด ทำให้เกิดการเสียรูปอย่างถาวรเฉพาะจุดบนแผ่นโลหะ [2], [3], [4], [5] ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด [6]

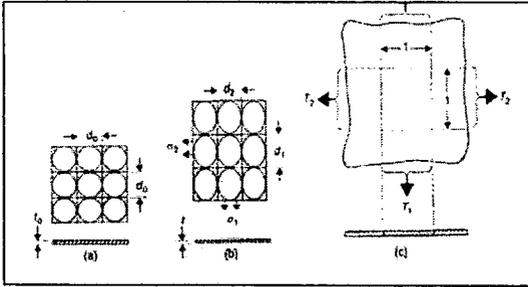
งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการขึ้นรูปโดยใช้วัสดุทองเหลืองแผ่น ซึ่งเป็นโลหะแผ่นที่มีความสามารถในการขึ้นรูปในลักษณะต่าง ๆ ได้สูงและนิยมใช้งานในอุตสาหกรรมหลาย ๆ ประเภทในปัจจุบันโดยทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปของโลหะแผ่นและทำการวิเคราะห์ เช่นมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป, ความเร็วในการเดินของอุปกรณ์, ความเร็วในการหมุนของอุปกรณ์ รวมไปถึงโครงสร้างจุลภาคที่มีผลจากการขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด แล้วจึงนำมาเปรียบเทียบลักษณะการขึ้นรูปที่เกิดขึ้น พร้อมวิเคราะห์ลักษณะการทำงาน ในแต่ละปัจจัยในการขึ้นรูป การศึกษานี้สามารถนำไปพัฒนาเพื่อให้ช่วยเพิ่มความความสามารถในการขึ้นรูปโลหะแผ่นและยังเป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตในการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุดต่อไป

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

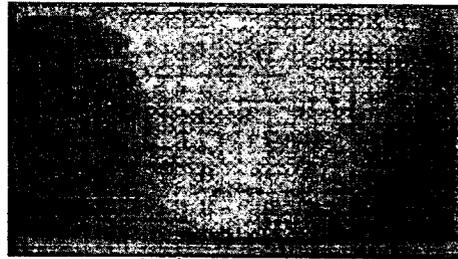
### 2.1 การวิเคราะห์กริดวงกลม (Analysis of circle grid)

การเปลี่ยนรูปของโลหะแผ่นในระนาบความเค้น (Deformation of sheet in plane stress) ในขณะที่มีการเปลี่ยนรูปบนระนาบความเค้น (Plane stress) พิจารณา (Work hardening) ของวัสดุ ซึ่งเขากำลังประยุกต์ใช้ทฤษฎีสัดส่วนการเปลี่ยนรูป ดังแสดงในรูปที่ 2 ลักษณะที่ยังไม่มีการเปลี่ยนรูปที่ความหนา  $t_0$  ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง  $d_0$  หรือตารางขนาด  $d_0$  ดังแสดงในรูปที่ 2 (a) ดังนั้นในระหว่างการเปลี่ยนรูปร่างวงกลมจะเปลี่ยนไปเป็นวงรี แกนหลัก (Major) คือ  $d_1$  แกนรอง (Minor) คือ  $d_2$  ถ้าปรับตารางสี่เหลี่ยมให้เข้ากับทิศทางการบิดวงกลม จะกลายเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังแสดงในรูปที่ 2 (b) ส่วนความหนา คือ  $t$  ตามที่กรณีดังแสดงในรูปที่ 2 (c) ความเค้นที่ทำให้เปลี่ยนรูปคือ  $\sigma_1$  และ  $\sigma_2$  [7]

มิลลิเมตร หน้า 0.6 มิลลิเมตร โดยการสร้างกริดวงกลม  
ขนาด 2.5 มิลลิเมตรดังรูปที่ 4



รูปที่ 2 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของกริด

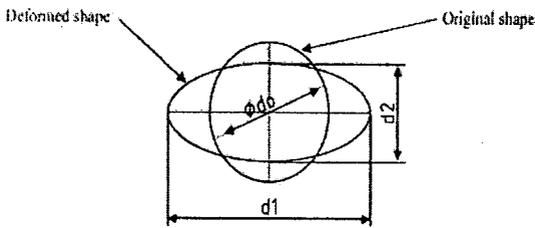


รูปที่ 4 ชี้นงานแผ่นทองเหลือง

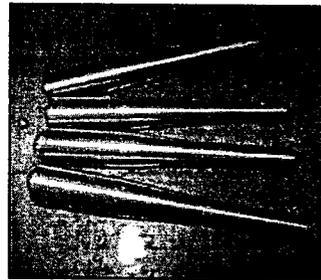
ความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain) ความเครียดหลักและความเครียดรองที่เกิดขึ้นจุดสุดท้ายของกระบวนการเพื่อใช้ในการตรวจสอบกรณีของการเกิดแบบต่างๆ วิเคราะห์ในพื้นทีวิกฤติของชิ้นงานหลักจากการขึ้นรูป ดังแสดงในรูปที่ 3 และดังแสดงในสมการที่ 1 ถึง 4

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

Tool ที่ใช้ขึ้นรูปชิ้นงานทำมาจากเหล็กตามมาตรฐาน JIS เกรด SKD11 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร โดยที่ปลายมีรูปร่างครึ่งวงกลม รัศมี 10 มิลลิเมตร [2] ดังรูปที่ 5



รูปที่ 3 การเปลี่ยนแปลงของกริดวงกลม



รูปที่ 5 Tool สำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน

ค่าความเครียดหลัก (Major strain)

$$\epsilon_1 = \ln \frac{d_1}{d_0} \quad (1)$$

ค่าความเครียดรอง (Minor strain)

$$\epsilon_2 = \ln \frac{d_2}{d_0} \quad (2)$$

ค่าความเครียดที่ความหนา (Thickness strain)

$$\epsilon_3 = \ln \frac{t_2}{t_0} \quad (3)$$

ค่าความเครียดเทียบเท่า (Equivalent strain)

$$\bar{\epsilon} = \sqrt{\frac{2}{3}(\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \epsilon_3^2)} \quad (4)$$

### 3. วิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 การเตรียมชิ้นงานทดลอง

เตรียมชิ้นงานทดสอบแผ่นโลหะทองเหลือง โดยทำการตัดให้มีขนาดความกว้าง 90 มิลลิเมตร ยาว 150

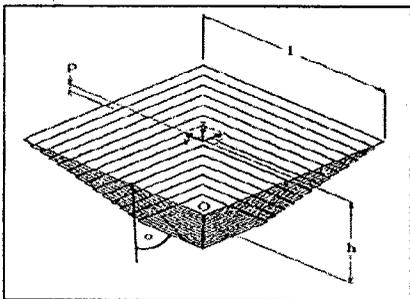
การทดลองจะดำเนินการทดสอบโดยใช้เครื่องกัด CNC แนวตั้งแบบ 3 แกน โดยจะทำการติดตั้งอุปกรณ์จับยึดแผ่นโลหะ โดยระบบจับยึดแผ่นโลหะจะมีการกำหนดพื้นที่ช่องว่างเพื่อให้แผ่นโลหะเปลี่ยนไปตามรูปแบบที่กำหนด หลังจากทำการทดลองเสร็จแล้วจะต้องบันทึกข้อมูลดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เครื่องกัด CNC แนวตั้งแบบ 3 แกน รุ่น ARROW 500

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

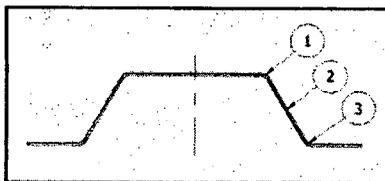
ในการทดสอบนี้ จะใช้การขึ้นรูปทรง ที่ง่ายต่อการขึ้นรูป โดยในการทดสอบจะทำการขึ้นรูปโดยมีรูปทรงแบบพีรามิดหัวตัด โดยฐานของพีรามิดเป็นสี่เหลี่ยมด้านเท่าขนาด 58x 58 มม. โดยในการทดลองจะมีกำหนดเส้นทางการเดินขึ้นรูป โดยใช้โปรแกรมช่วยในการผลิต (CAM) ทำการกำหนดเส้นทางการทำงานที่เกิดขึ้น และมีการกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลองได้แก่ มุมที่ใช้ในการขึ้นรูป (Angle forming), ความเร็วในการหมุนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป (Speed), ความเร็วในการเคลื่อนที่ตามแนวแกนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการขึ้นรูป (Feed) ดังรูปที่ 7 [2]



รูปที่ 7 แสดงมุม, เส้นทางการเดิน และค่าตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการขึ้นรูป

ตารางที่ 1 ตัวแปรในการทดลอง

Process parameter	
l (mm) (Width)	58 mm
p(mm) (Depth)	0.5 mm
h(mm) (Height)	20 mm
$\alpha$ (°)	30 , 40 , 50
Feed (mm/min)	100,200,400
Speed (rpm/min)	200,400,600



รูปที่ 8 บริเวณทำการวัดความเครียดชิ้นงานทั้งหมด

### 4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

#### 4.1 วิเคราะห์ผลของปัจจัยในการขึ้นรูปที่มีผลต่อความเครียด

จากผลการทดลองวัดค่าที่ได้จากการวัดความเครียดที่ผิวชิ้นงานเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมและแผ่นไมล้า พบว่าค่าที่ได้จากการวัดค่าความเครียดด้วยแผ่นไมล้า จะมีค่าแตกต่างจากการวัดโดยใช้โปรแกรม ประมาณ 3-11% และการทดลองพบว่า ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงของต่อความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปคือ ปัจจัยมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปและความเร็วในการเดินขึ้นรูป ในการทดลองพบว่า อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปสูงสุดในแต่ละมุม คือการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที เท่ากับ 118.49%, การขึ้นรูปที่มุม 40 องศา ด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เท่ากับ 63.76% และการขึ้นรูปที่มุม 50 องศาด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เท่ากับ 35.50% นั้น จากผลการทดลองทำให้เห็นว่า เมื่อมุมที่ทำการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานจะลดลง ซึ่งค่าความเครียดต่ำสุดจะอยู่ที่มุม 50 องศา และในส่วนความเร็วในการเดินขึ้นรูปนั้น จากการผลทดลองการขึ้นรูป ในมุมที่แตกต่างกันและความเร็วรอบในการหมุนที่แตกต่างกันนั้น พบว่าอัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ความเร็วในการเดินขึ้นรูป 300 มิลลิเมตรต่อนาที ในทุกปัจจัยมุมที่ทำการขึ้นรูป ซึ่งเป็นผลมาจากความเค้นดึงที่เกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดของชิ้นงานที่จะแปรผันตามมุมของการตัดขึ้นรูป และความเร็วเดินที่ส่งผลกับค่าความเค้นของชิ้นงานจากการกดขึ้นรูป ซึ่งเป็นไปตามผลงานวิจัยของ นายธงชัย เพ็งจันทร์ดี ที่กล่าวไว้ว่าเมื่อมุมที่ทำการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น ตามลำดับอัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงาน ก็ลดลงอย่างมาก และในส่วนความเร็วในการเดินขึ้นรูปนั้น จากการผลทดลองการขึ้นรูป ในแต่ละมุมและความเร็วในการหมุนของอุปกรณ์ที่แตกต่างกันนั้น พบว่าอัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้น

ผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปสูงสุดจะเกิดขึ้นที่ความเร็วในการเดินขึ้นรูป 300 มิลลิเมตรต่อนาที ในทุก ๆ มุมที่ทำการขึ้นรูป ดังนั้นปัจจัยมุมที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโดยก่อให้เกิดอัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานต่ำสุด คือ การขึ้นรูปที่มุม 50 องศา และความเร็วในการเดินขึ้นรูปของอุปกรณ์ที่ความเร็วต่ำกว่า 300 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 8, 9 และ 10

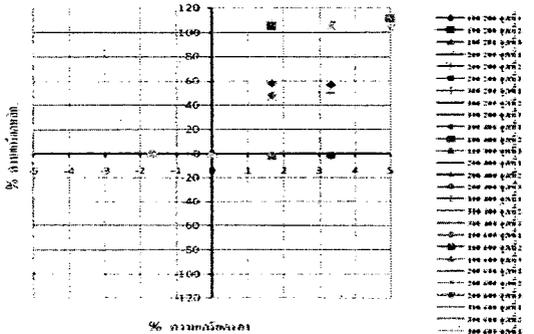
#### 4.2 วิเคราะห์ผลของปัจจัยในการขึ้นรูปที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรน

จากการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการวัดขนาดเกรนภายในชิ้นงานในสภาพก่อนการขึ้นรูป มีขนาดเท่ากับ 9.29 - 9.48 และจากการวัดขนาดเกรนหลังการขึ้นรูปชิ้นงานที่มุม 30 องศา ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที มีขนาดเกรนละเอียดที่สุดในจุดที่ 3 เท่ากับ 10.91, ที่มุม 40 องศา ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที มีขนาดเกรนละเอียดที่สุดในจุดที่ 2 เท่ากับ 10.97, ที่มุม 50 องศา ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที มีขนาดเกรนละเอียดที่สุดในจุดที่ 1 เท่ากับ 11.08 จากผลการทดลองเห็นได้ว่าขนาดของเกรนที่ถูกกดจากการขึ้นรูปทุกปัจจัยการขึ้นรูปในทั้ง 3 จุด ที่ทำการทดลองจะมีค่าความละเอียดของเกรนที่ใกล้เคียงกันมาก และจะมีค่าที่ละเอียดที่สุดของเกรนของปัจจัยทุกมุมอยู่ในจุดทั้ง 3 แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 จุดของชิ้นงานที่มีการขึ้นรูป ต่างก็มีความละเอียดของเกรนและยังใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากทั้ง 3 จุดนั้น ต่างก็มีการยึดและหดตัวจากความเค้นดึงและความเค้นอัด ที่เกิดการดัดในกระบวนการขึ้นรูป แต่เนื่องด้วยโลหะที่บางจึงทำให้เกิดการไหลตัวที่น้อยทำให้ขนาดเกรนเปลี่ยนไปจากเดิมไม่มากนัก

#### 5. สรุป

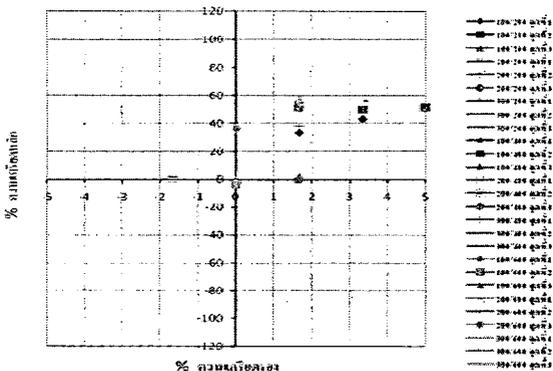
ค่าความเครียดผิวหลักที่เกิดจากการขึ้นรูปด้วยมุมที่กำหนด แสดงให้เห็นได้ว่าจะมีค่าที่สูงขึ้นตามมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ลดลง โดยค่าของความเครียดหลักที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูป จะผกผันกับมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป กล่าวคือ มุมที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำ ความเครียดหลักที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวก็จะเพิ่มมากขึ้นด้วย โดยมุมที่ก่อให้เกิดความเครียดหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานสูงสุดคือ มุม 30 องศาเท่ากับ 118.49 % และความเครียดหลักที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานต่ำสุดที่มุม 50 องศาเท่ากับ 35.50% ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 รอบต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาทีจะมีค่าความเครียดหลักสูงสุดที่วัดได้คือ 63.76% ที่มุม 50 องศา ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และ

ความเร็วเดินความเร็วรอบ



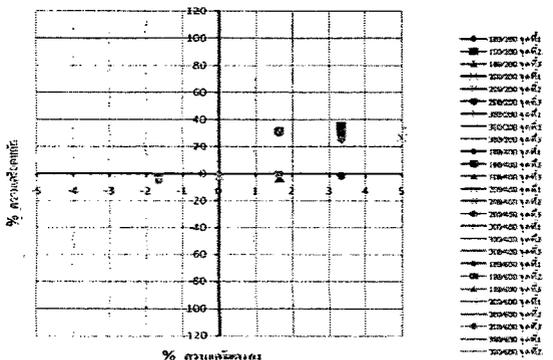
รูปที่ 8 อัตราความเครียดในกระบวนการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา

ความเร็วเดินความเร็วรอบ



รูปที่ 9 อัตราความเครียดในกระบวนการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา

ความเร็วเดินความเร็วรอบ



รูปที่ 10 อัตราความเครียดในกระบวนการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา

ความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาทีจะมีค่าความเครียด  
เล็กสูงสุดที่วัดได้คือ 35.50%ในปัจจุบันการขึ้นรูปทั้งหมด  
เท่าที่ได้จากการทดลองวัดขนาดโครงสร้างของเกรน จะมี  
เ้าโดยเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมาก ในทุกจุดที่ผ่าน  
กระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด

### โติดิกรรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสถาบันวิจัยและ  
พัฒนา มทร.ธัญบุรี งบประมาณประจำปี 2556 และ  
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

### เอกสารอ้างอิง

- 1] Fratini, L., Ambrogio, G., Lorenzo, R. and  
Filice, L. 2004. Influence of mechanical  
properties of the sheet material in single point  
incremental forming ,CRIP Ann.53 (1) :207-210.
- 2] ธงชัย เพ็งจันทร์ดี.2554. อิทธิพลของการขึ้นรูป  
โลหะทองเหลืองด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่อง  
โดยสัมผัสเป็นจุดโดยทำงานด้วยระบบคอมพิวเตอร์  
ควบคุมเชิงตัวเลข.; วิทยานิพนธ์ปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาห  
การ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- 3] Jackson, K. and Allwood, J. 2009. The  
mechanic of incremental sheet forming, Journal  
of Materials Processing Technology 209:1158-  
1174.
- 4] Dufflou, J., Tunckol, Y. andSzekeres, A. 2007.  
Experimental study on force measurement for  
single point incremental forming. Journal of  
Materials Processing Technology 189:65-72.
- 5] Micari, F.,Ambrogio, G. and .Filice, L. 2007.  
Shape and Dimentionaccuracy in Single Point  
Incremental Forming: State of art and Future  
trends, Journal of Materials Processing  
Technology 191:390-395.
- 3] Jeswiet, J. 2000.Rapid proto-typing with  
incremental single point forming. CAD/CAM  
Comput.Graphics 15: 177-183.

- [6] บุญส่ง จงกลนี้. 2552. "การศึกษาอิทธิพลของตัว  
แปรในกระบวนการขึ้นรูปลึกชิ้นงานที่มีรูปทรงไม่  
สมมาตรต่อสมบัติการขึ้นรูปของเหล็ก SPCC."  
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
วิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชม  
งคลธัญบุรี.