

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การทดสอบแรงกระแทก

โดยใช้ชิ้นงานทดสอบตาม JIS Z 2202 (1980) No.4 และใช้วิธี
ทดสอบตาม JIS Z 2242 (1993) ทดสอบด้วยเครื่อง Charpy-Izod
Combined Machine ของ Avery Denison (Model 6705/U)
ผลการทดสอบได้แสดงในตารางที่ 4.1 ต่อจากนั้นนำชิ้นงานมาตรวจพื้นผิวรอยแตก
เพื่อหาค่า % Shear Fracture ตามมาตรฐาน ASTM E23-94 โดยได้แสดง
พื้นผิวรอยแตกดังรูป 4.1 ถึง 4.5

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแรงกระแทก

หมายเลข ชิ้นงาน ทดลอง	อัตราส่วน Ce : S	พลังงานการรับแรงกระแทก (จูล)	
		Long	Tran
10	0.20	51	49
11	0.21	28	20
21	0.48	33	27
22	0.79	48	34
23	1.47	72	70
24	1.88	62	59
25	2.88	53	53
26	3.69	27	25
27	4.00	23	21
	อัตราส่วน Ca : S		
31	0.52	21	17
32	0.65	18	13
33	0.61	18	15

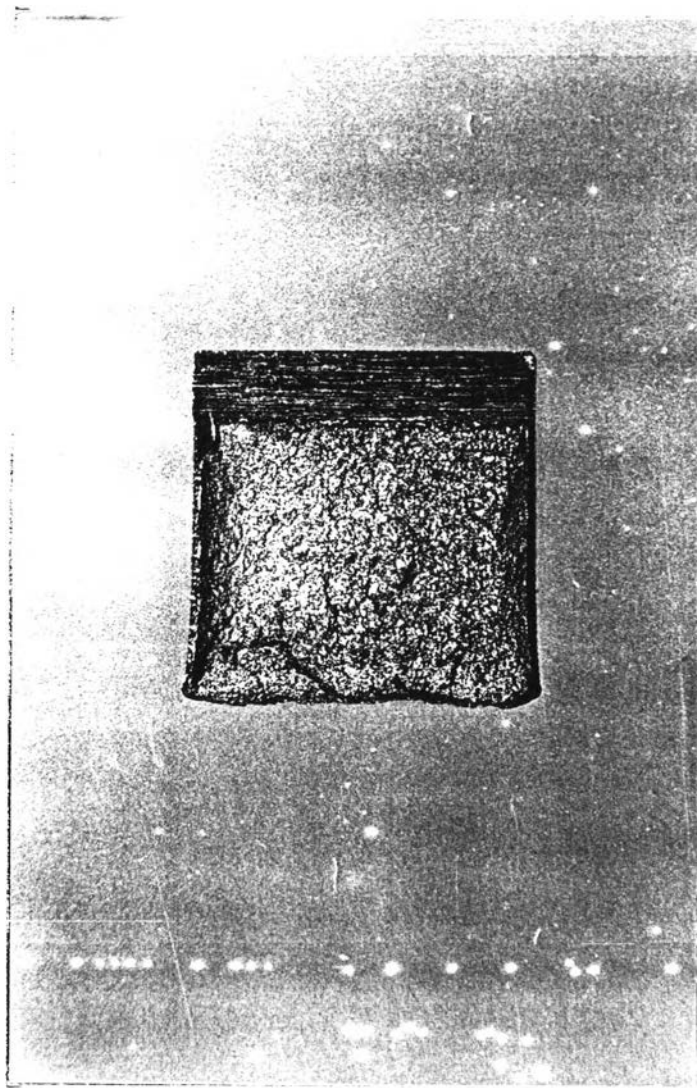
โดย Long หมายถึง การทดสอบในทิศทางตามแนวการขึ้นรูป

Tran หมายถึง การทดสอบในทิศทางขวางการขึ้นรูป

ผลการทดสอบในตาราง 4.1 เป็นค่าเฉลี่ย โดยได้แสดงผลการทดสอบทั้งหมด

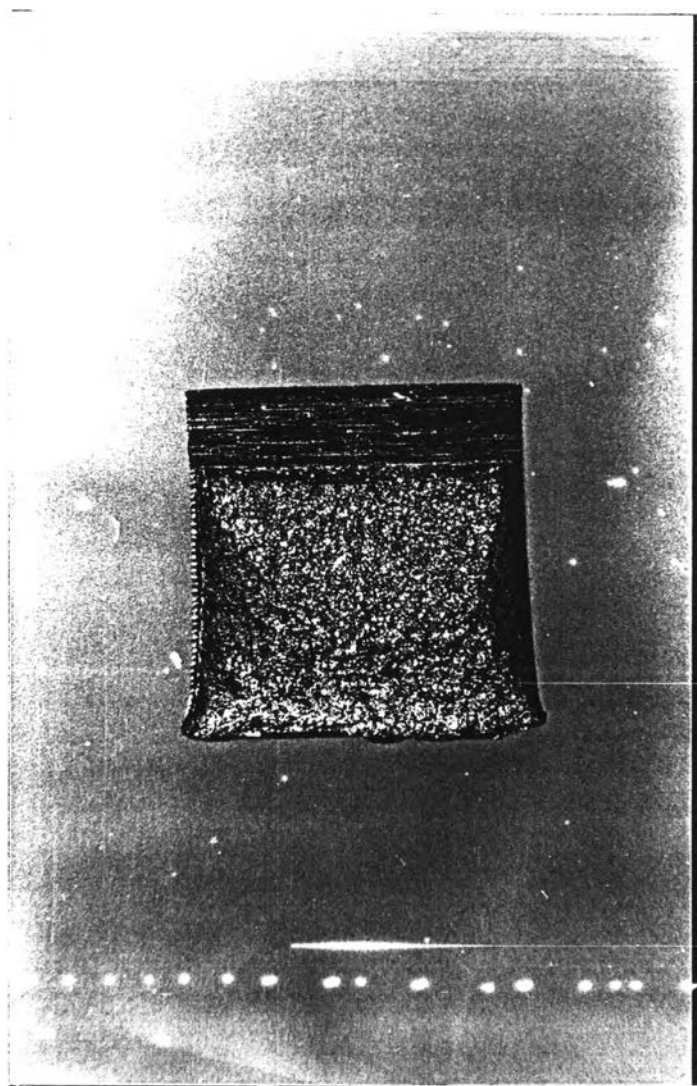
ไว้ในภาคผนวก หน้า 123

การตรวจพื้นผิวย่อยแตกตามมาตรฐาน ASTM E 23-94 ได้แสดงผลดังนี้



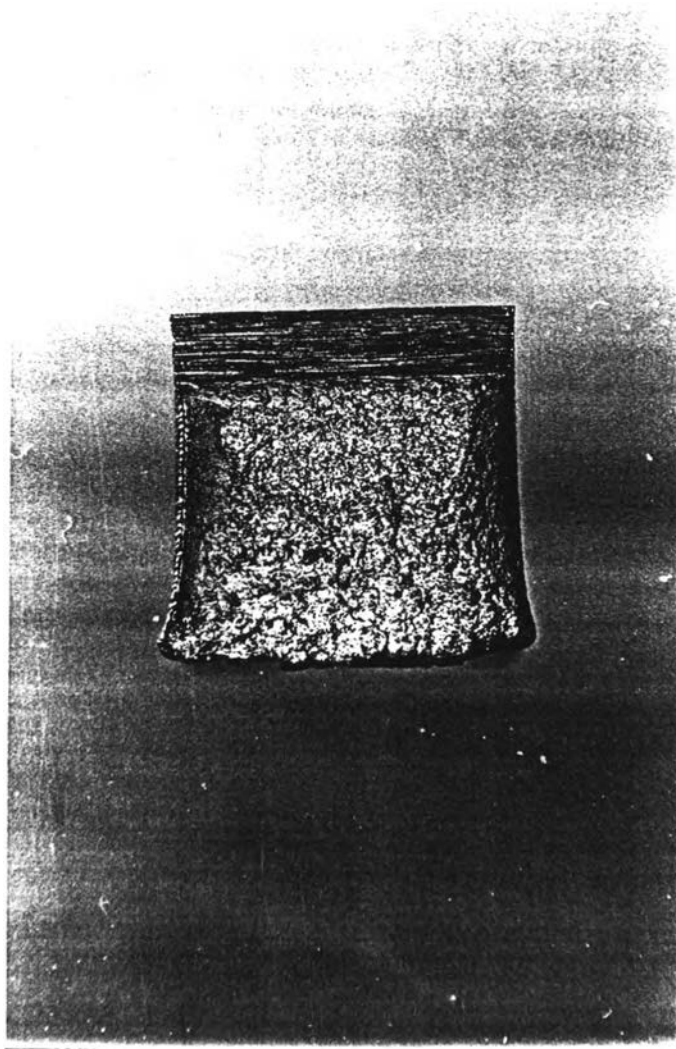
รูปที่ 4.1 พื้นผิวย่อยแตกของชิ้นงานทดลองหมายเลข 11

จากรูป 4.1 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture เท่ากับ 31%



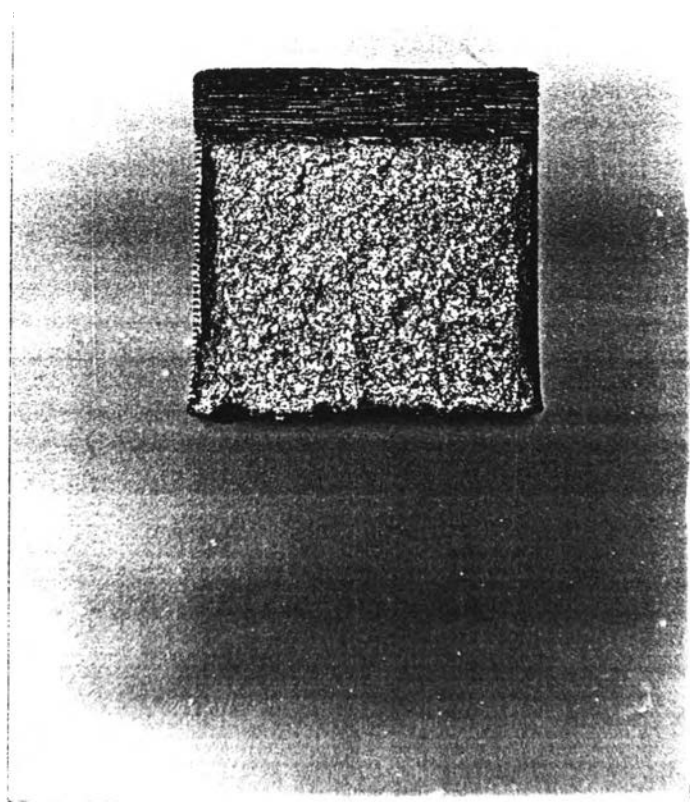
รูปที่ 4.2 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดลองหมายเลข 22

จากรูป 4.2 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture เท่ากับ 40%



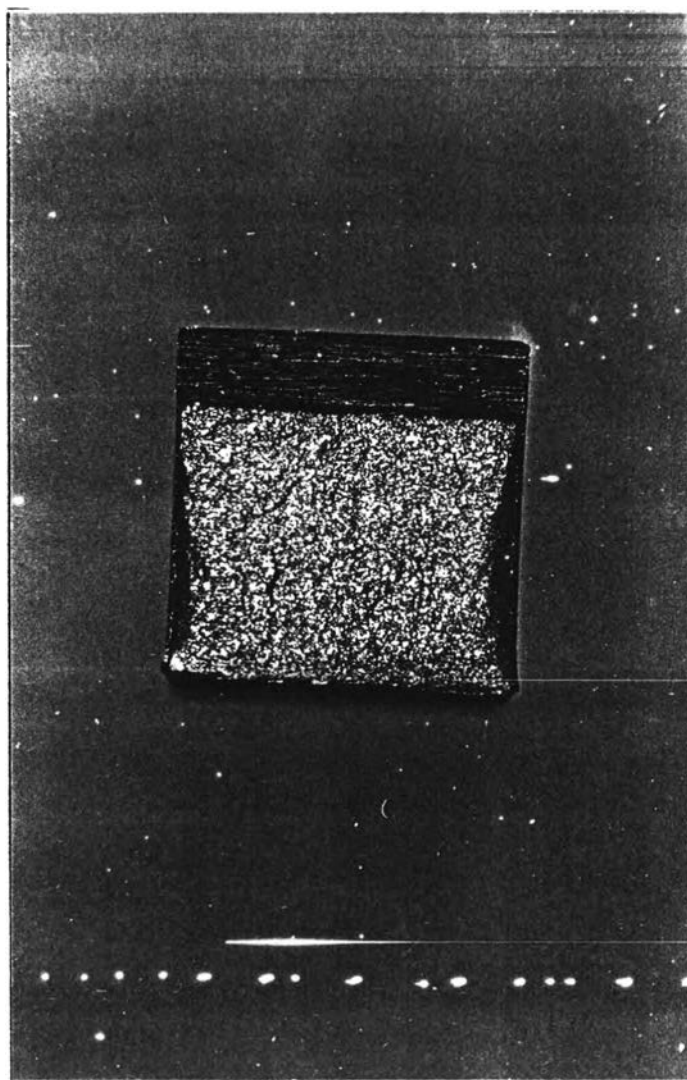
รูปที่ 4.3 พื้นผิวย่อยแตกของชิ้นงานทดลองหมายเลข 23

จากรูป 4.3 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture เท่ากับ 82%



รูปที่ 4.4 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดลองหมายเลข 27

จากรูป 4.4 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture เท่ากับ 31%



รูปที่ 4.5 พื้นผิวรอยแตกของชิ้นงานทดลองหมายเลข 31

จากรูป 4.5 ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ Shear Fracture เท่ากับ 21%

การทดสอบแรงดึง

โดยใช้ชิ้นงานทดสอบตาม JIS Z 2201 (1980) No.10 และใช้วิธี
ทดสอบตาม JIS Z 2241 (1993) ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing
Machine ของ Shimadzu (Model DSS-10T) ผลการทดสอบแสดงในตาราง 4.2

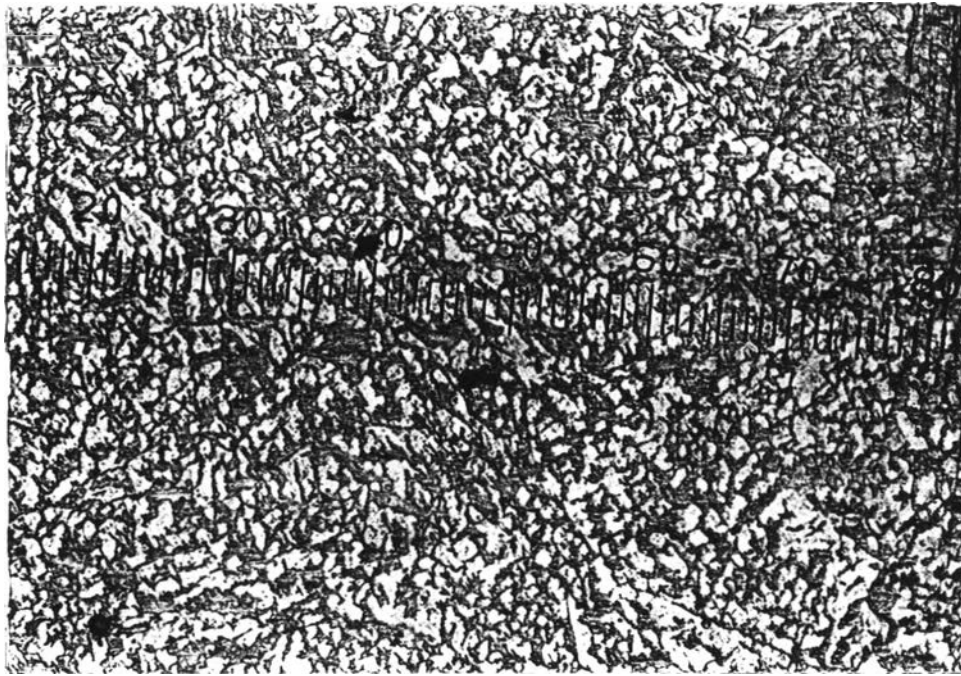
ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบแรงดึง

หมายเลข ชิ้นงาน ทดลอง	อัตราส่วน Ce : S	Yield Strength (MPa.)		Tensile Strength (MPa.)		Percent Elongation	
		Long	Tran	Long	Tran	Long	Tran
11	0.21	428	413	658	650	26	16
21	0.48	488	459	713	707	24	21
22	0.79	429	414	637	628	29	26
23	1.47	452	455	642	642	28	27
24	1.88	465	489	697	714	25	24
25	2.88	470	451	675	659	27	27
26	3.69	432	427	699	711	24	21
27	4.00	407	382	638	616	21	23

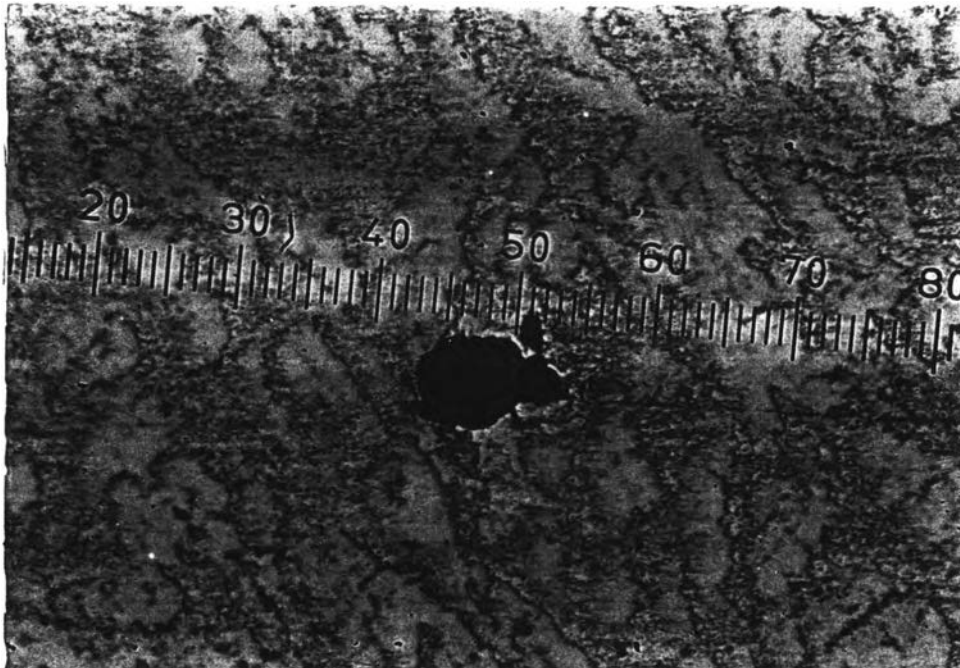
ผลการทดสอบในตารางที่ 4.2 เป็นค่าเฉลี่ย โดยได้แสดงผลทั้งหมดไว้ในภาคผนวก

การทดสอบโครงสร้างจุลภาค

โดยใช้กล้อง Optical Microscope และ Scanning Electron Microscope การวัดความยาวของอินคลูชันและอัตราส่วนด้านที่ยาวที่สุดต่อด้านที่กว้างที่สุด (E) เพื่อแสดงความกลม ความรี กระทำที่กำลังขยาย 500 เท่า โดยขนาดช่องมาตรฐานที่กำลังขยายดังกล่าว 1 ช่อง เท่ากับ 2.85 ไมครอน และได้แสดงภาพอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 10 ที่รูป 4.6 และ 4.7 หมายเลข 11 ที่รูป 4.8 ถึง 4.11 หมายเลข 22 ที่รูป 4.12 ถึง 4.16 หมายเลข 23 ที่รูป 4.17 ถึง 4.19 หมายเลข 27 ที่รูป 4.21 ถึง 4.25 หมายเลข 31 ที่รูป 4.34 ถึง 4.36 และแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของอินคลูชันที่รูป 4.20 การเกิดรอยแตกบนพื้นผิวของชิ้นงานหมายเลข 27 จากการทุบขึ้นรูปได้แสดงไว้ที่รูป 4.26 ถึง 4.33 การวัดขนาดเกรนตาม ISO 643-1983 ดังรูป 4.37 และ 4.38 และได้สรุปขนาดของซิลไฟด์อินคลูชันและธาตุที่ตรวจพบที่ตาราง 4.3

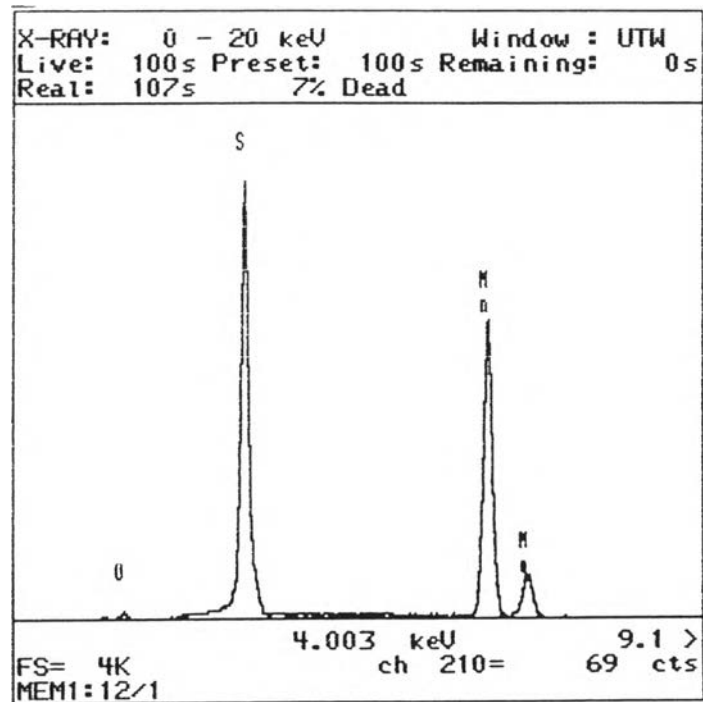
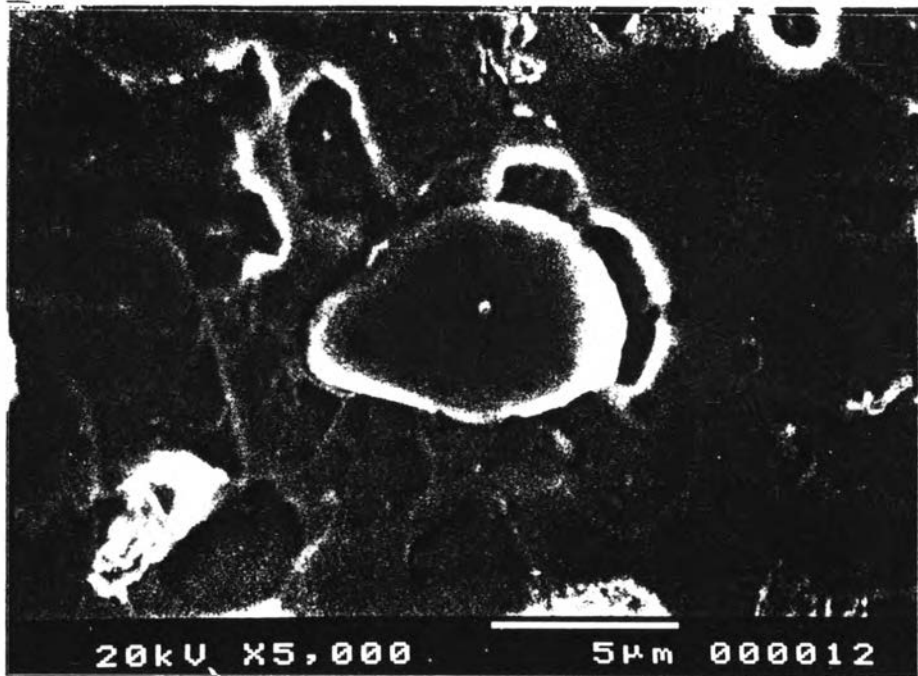


กำลังขยาย 100 X

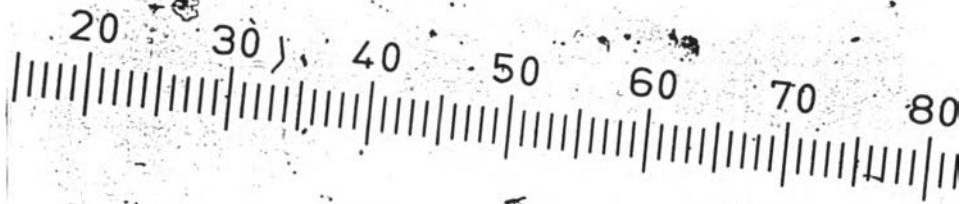


กำลังขยาย 500 X

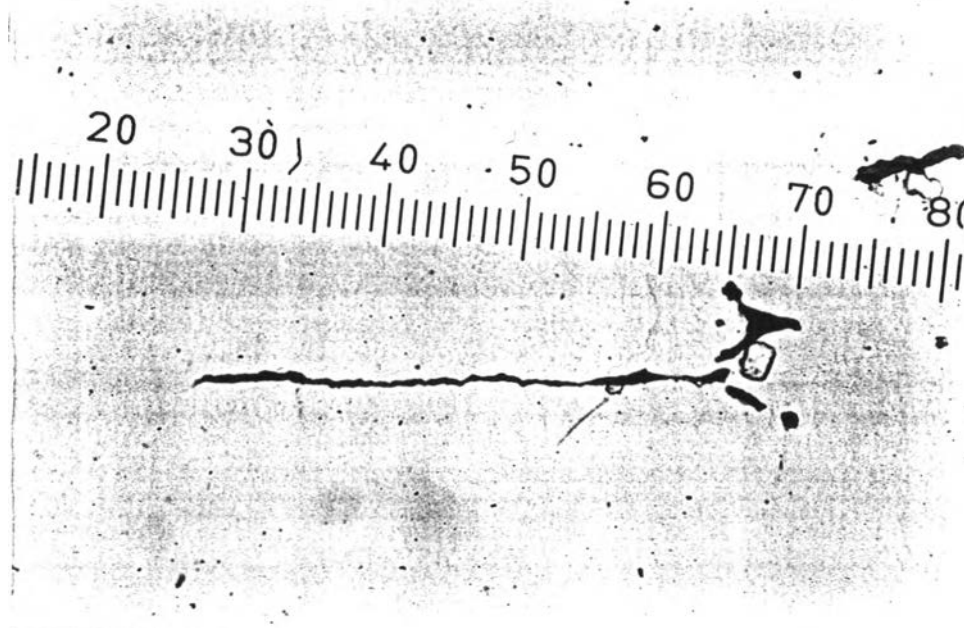
รูปที่ 4.6 ภาพซีลาไฟต์อินคลูชันของอินงานหมายเลข 10 (ผ่านการทำชุบขึ้นรูป)
แสดงถึง MnS กลุ่มที่ 1 มีรูปร่างลักษณะกลม



รูปที่ 4.7 ภาพสัณฐานวิทยาของชิ้นงานหมายเลข 10 ที่กำลังขยาย 5000 X และผลการพิสูจน์ธาตุยืนยันว่าเป็น MnS กลุ่มที่ 1 มีรูปร่างกลม

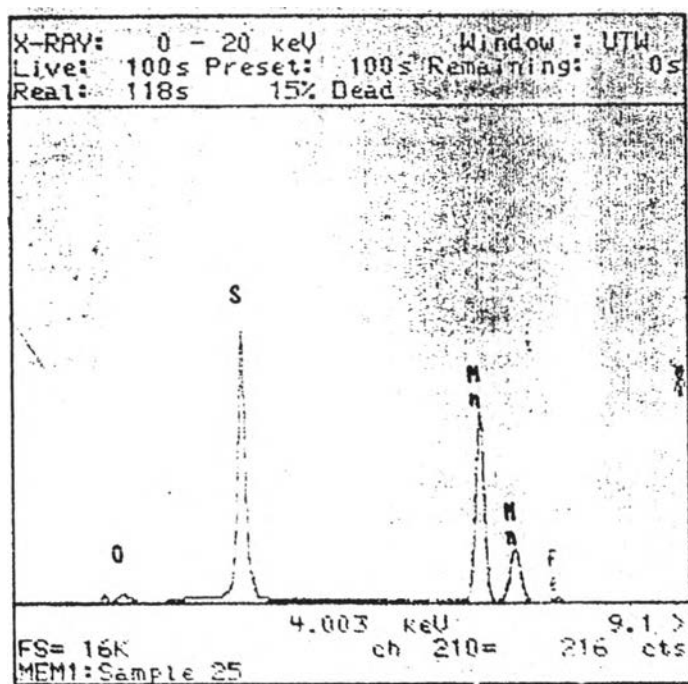
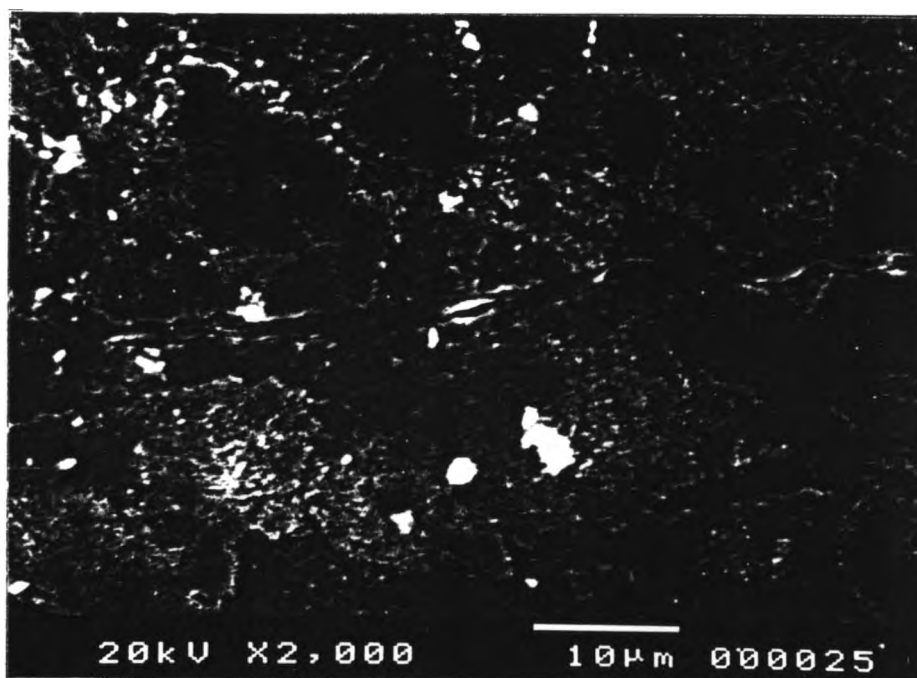


กำลังขยาย 100 X

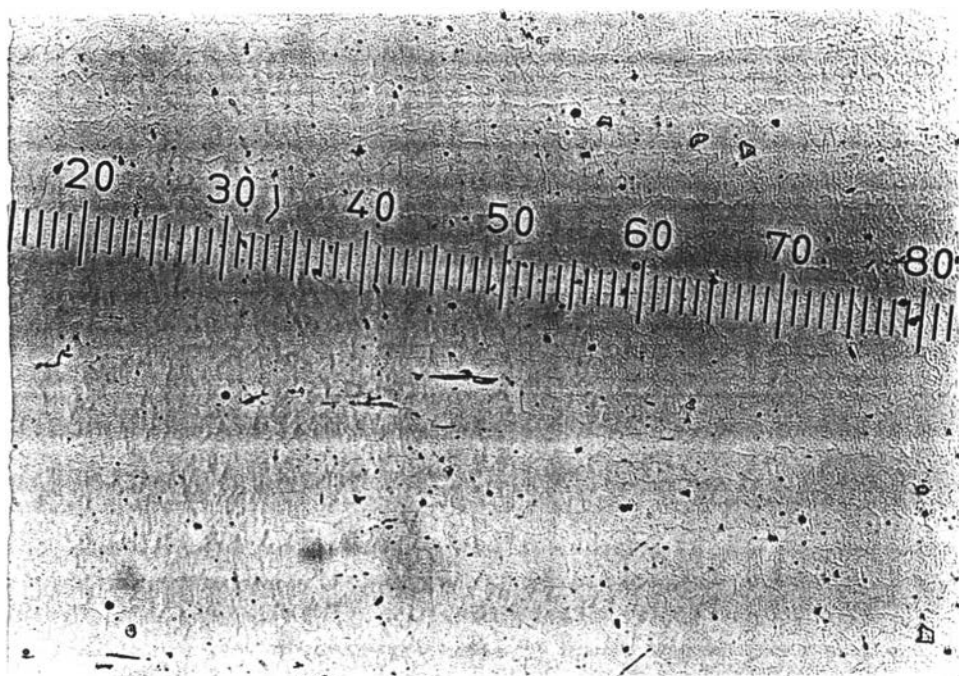


กำลังขยาย 500 X

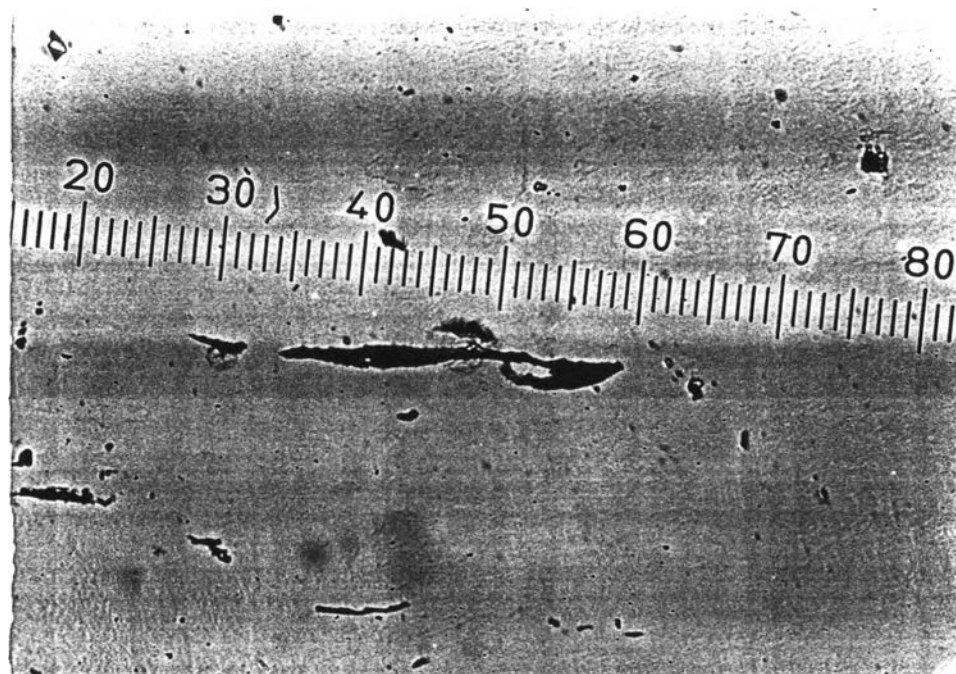
รูปที่ 4.8 ภาพสไลด์อินคูลชันของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางการขึ้นรูป แสดงถึงการยึดตัวอย่างมากของ MnS จากการผลิตขึ้นรูป



รูปที่ 4.9 ภาพสแกนอิเล็กตรอนของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางการขึ้นรูป
ที่กำลังขยาย 2000 X และผลการพิสูจน์ธาตุยืนยันว่าเป็น MnS
ซึ่งยึดตัวอย่างมากจากการขึ้นรูป

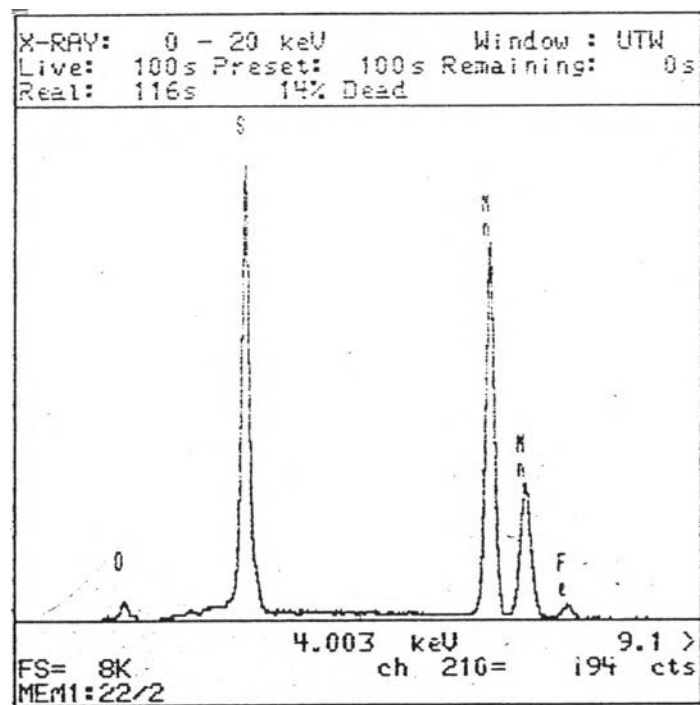
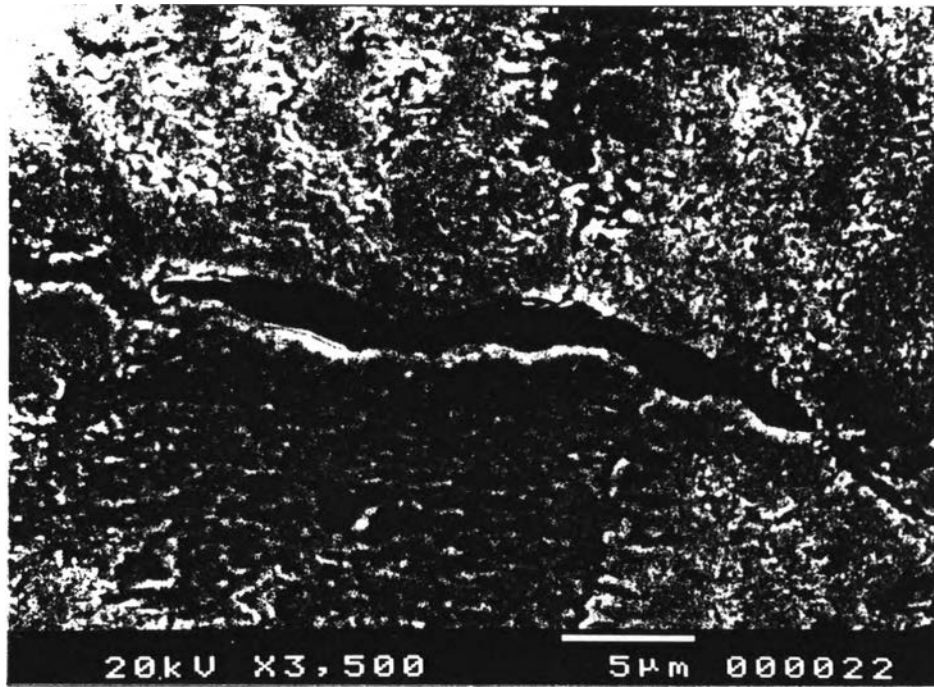


กำลังขยาย 100 X

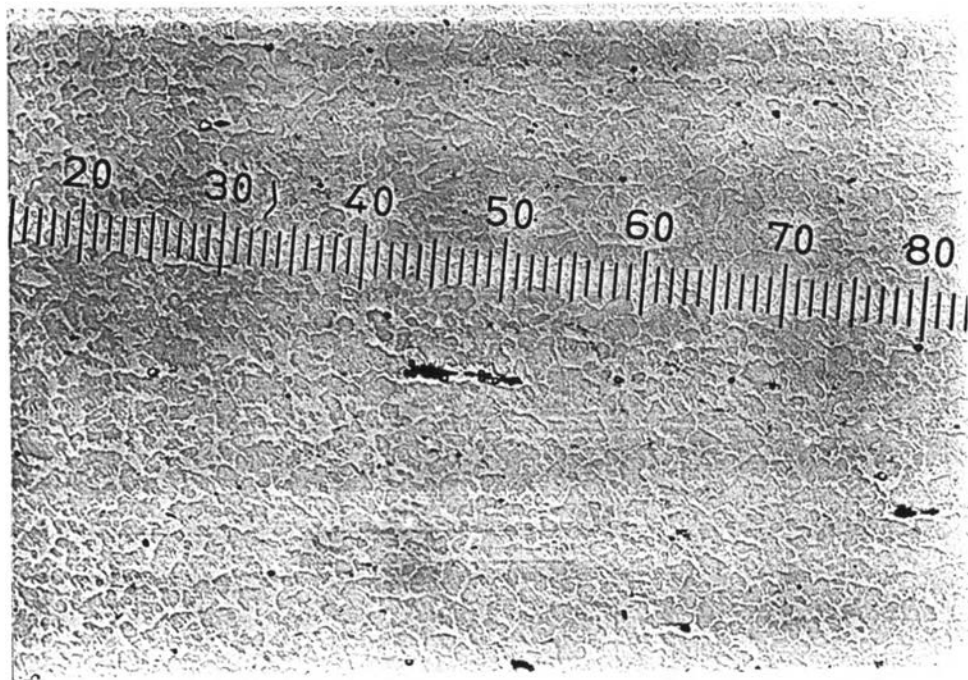


กำลังขยาย 500 X

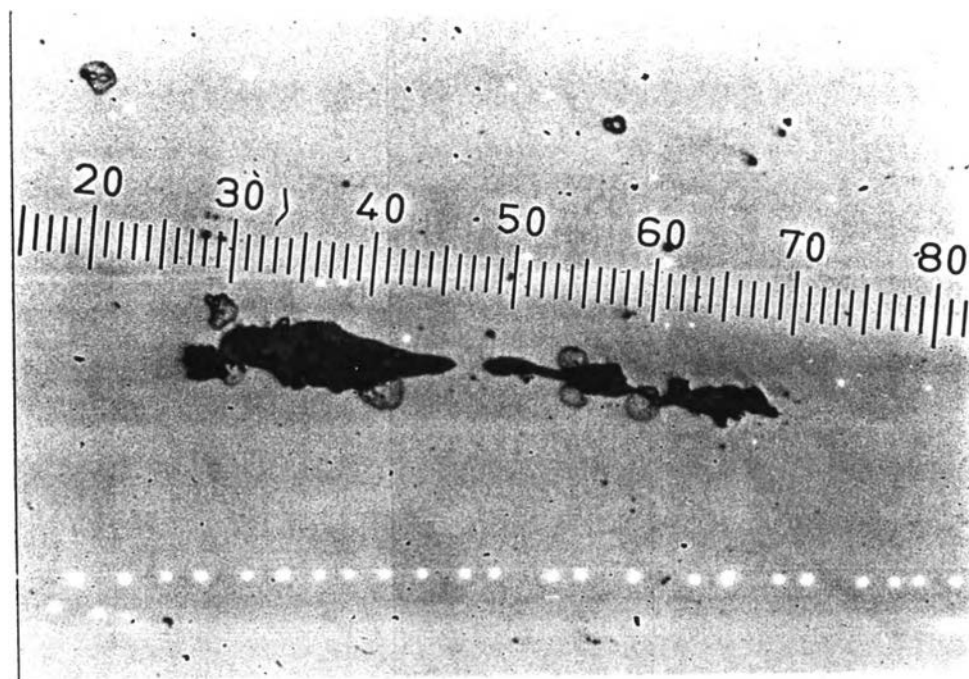
รูปที่ 4.10 ภาพจุลภาคอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป แสดงถึงการยึดตัวของ MnS จากการขึ้นรูปแต่ไม่มากเหมือนในทิศทางการขึ้นรูป



รูปที่ 4.11 ภาพซัลโฟไดอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 11 ในทิศทางขวาง การปรับรูปที่กำลังขยาย 3500 X และผลการพิสูจน์ธาตุ ยืนยันว่า เป็น MnS

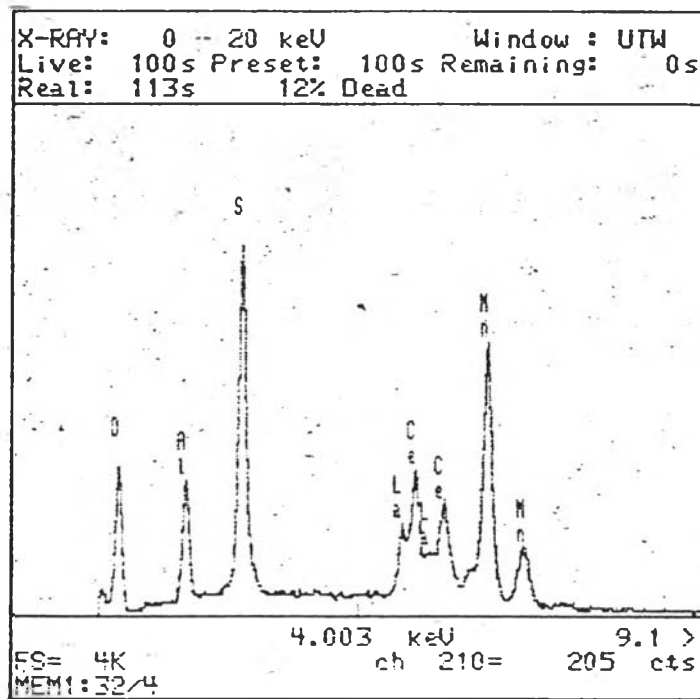
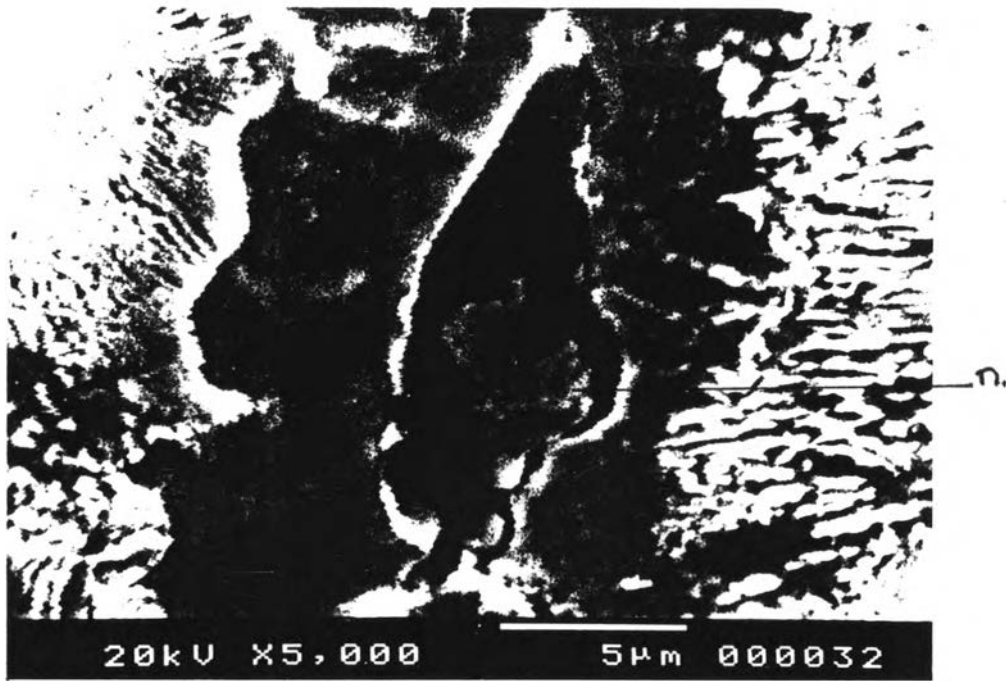


กล้องขยาย 100 X



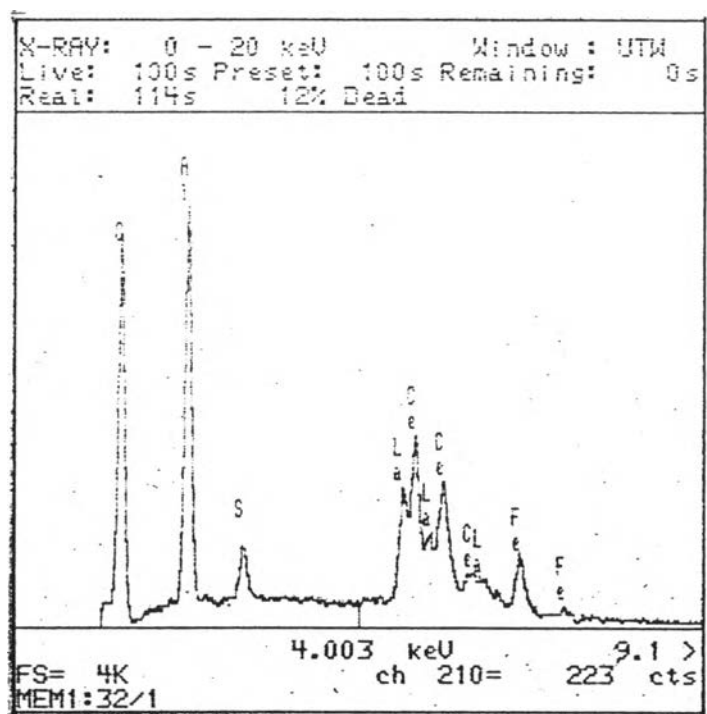
กล้องขยาย 500 X

รูปที่ 4.12 ภาพซิลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางการขึ้นรูป ซึ่งแสดงถึงการควบคุมรูปร่างของซิลไฟด์อินคลูชันได้บางส่วน ทำให้เกิดการบิดตัวน้อยลง

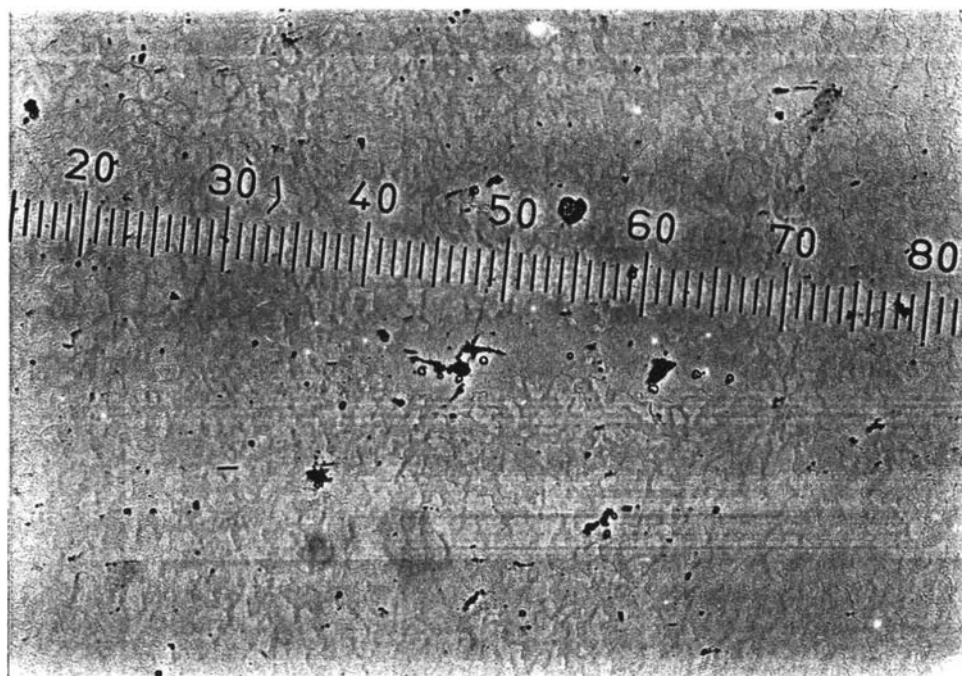


รูปที่ 4.13 ภาพซัลไฟด์อินคลูชันของหินงา หมายเลข 22 ในทิศทางการขึ้นรูป
 ที่กำลังขยาย 5000 X และผลการพิสูจน์ธาตุพบว่าเป็นอินคลูชันที่
 ประกอบไปด้วยแร่เอิร์ทออกไซด์ซัลไฟด์และMnS

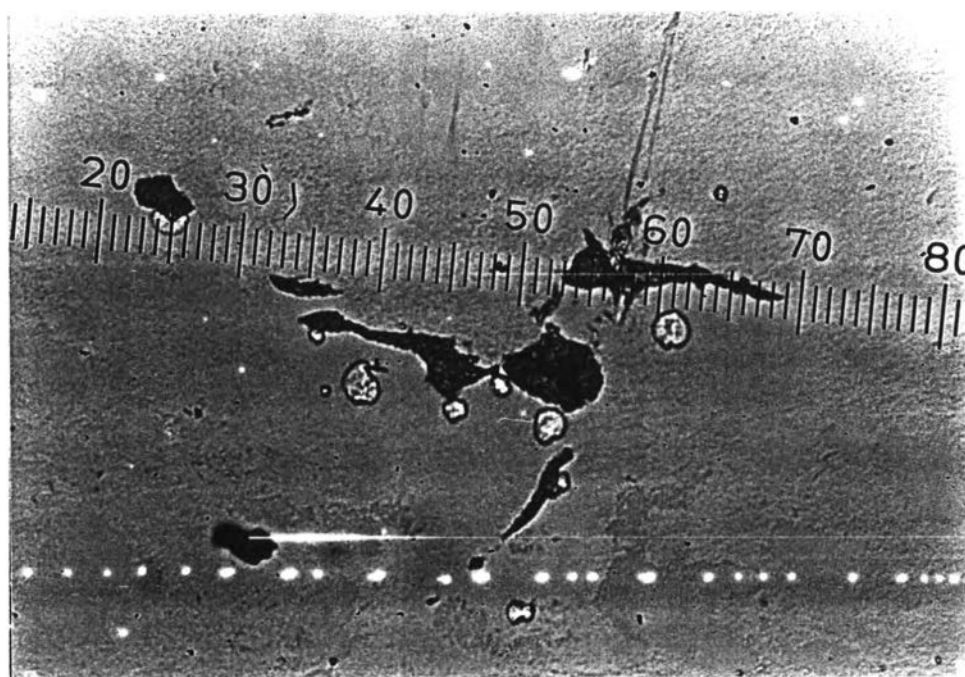
บริเวณ ก ในรูป 4.13 เป็นอลูมินาอินคลูชัน ดังแสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การตรวจสอบอลูมินาอินคลูชันในรูป 4.13 โดย SEM.พบว่าบริเวณ ก. เป็นอลูมินาและมีแร่เอิร์ทออกไซด์อยู่ด้วย

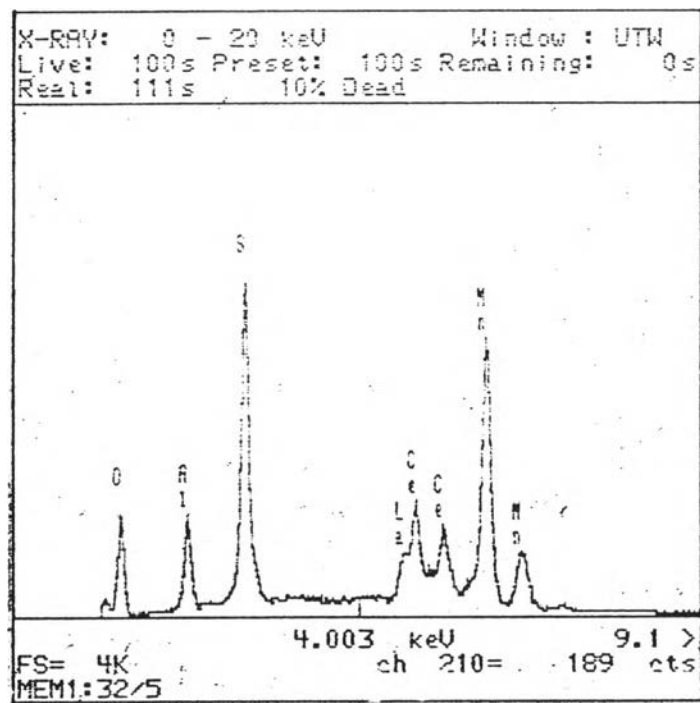


กำลังขยาย 100 X

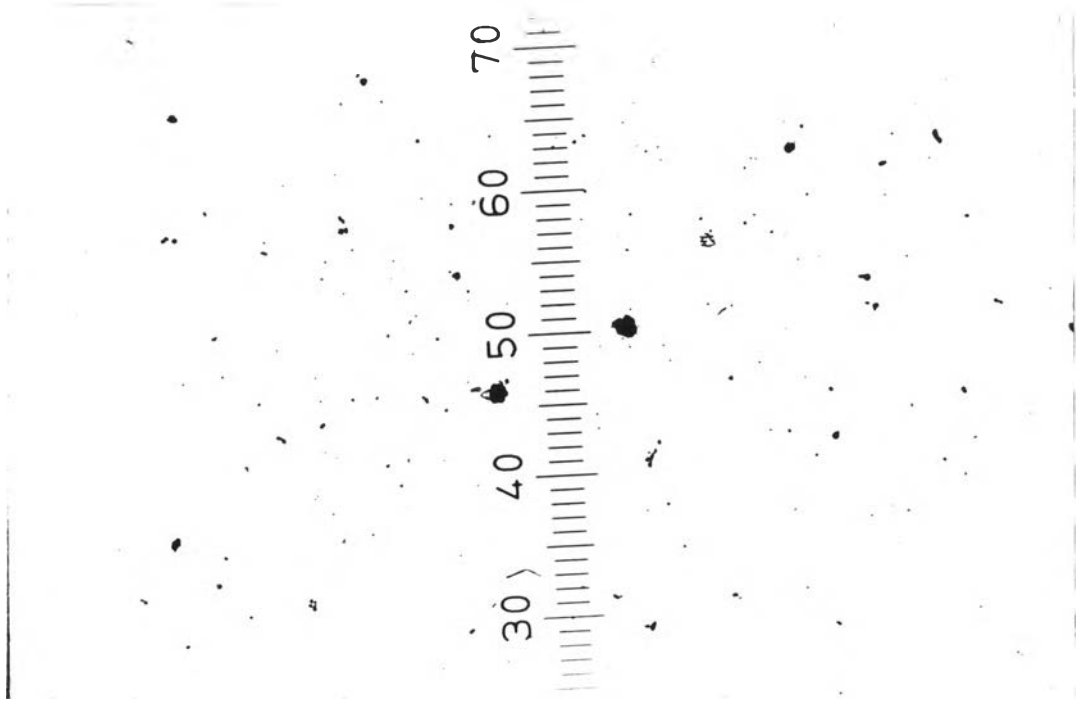


กำลังขยาย 500 X

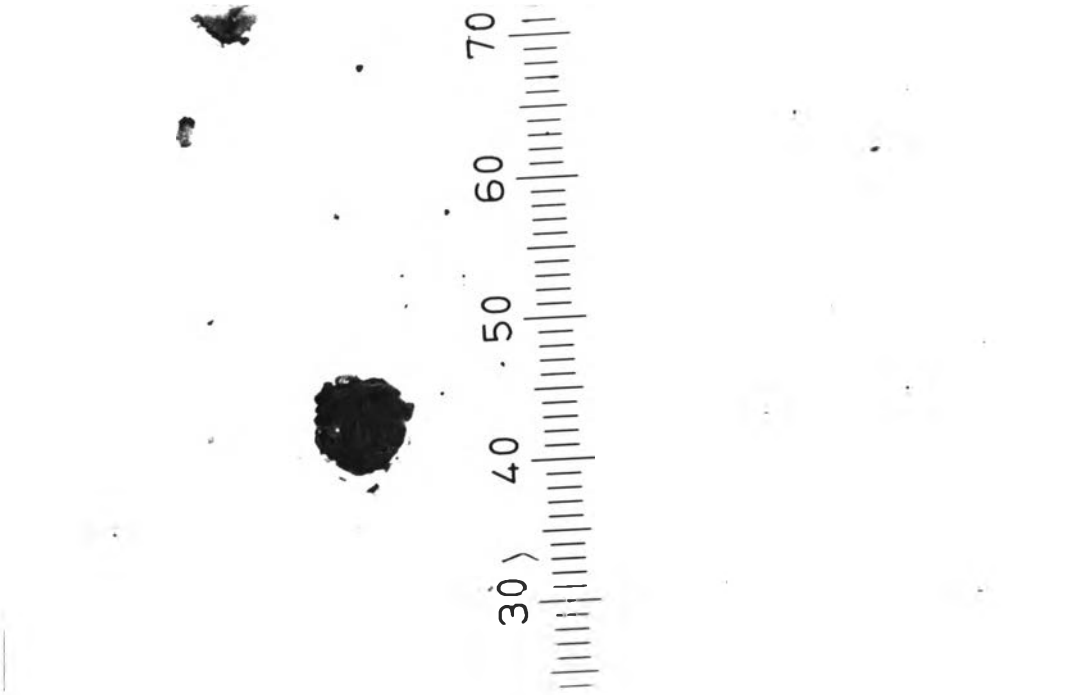
รูปที่ 4.15 ภาพซิลไฟด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป ซึ่งแสดงถึงการควบคุมรูปร่างของซิลไฟด์อินคลูชันได้บางส่วน ทำให้เกิดการยึดตัวน้อยลง



รูปที่ 4.16 ภาพล้าไฟดอินคลูชันของหินงาหมายเลข 22 ในทิศทางขวาง การขึ้นรูปที่กาลังขยาย 5000 X และผลการพิสูจน์ธาตุ พบว่า เป็นอินคลูชันที่ประกอบไปด้วยแร่เอิร์ทออกซิซัลไฟด์และ MnS

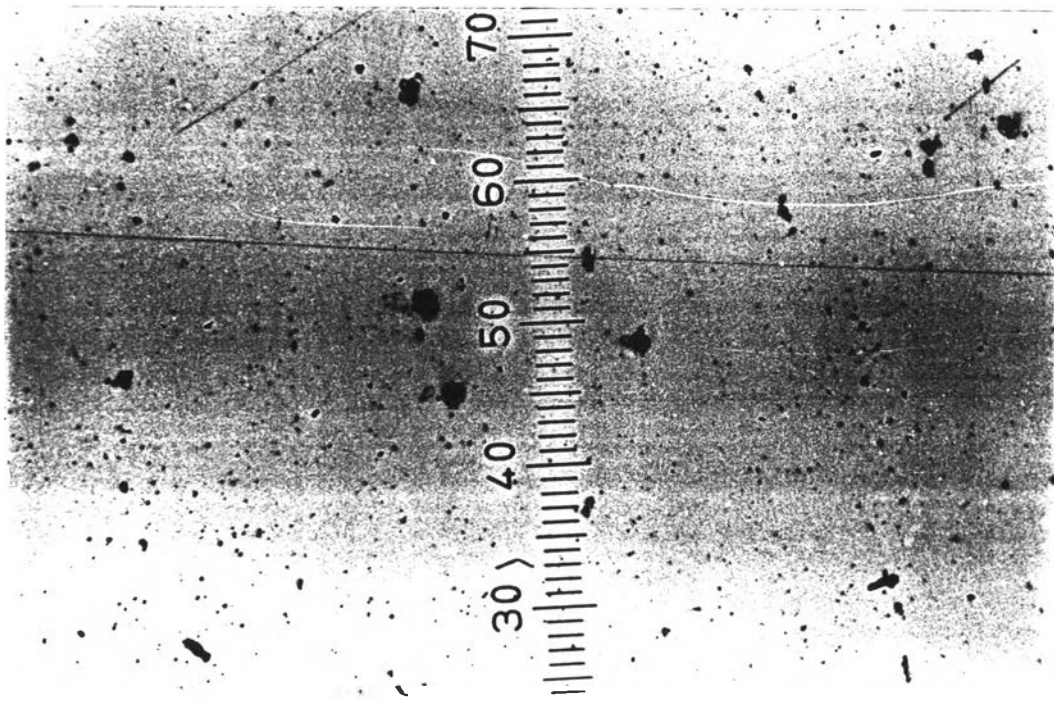


กำลังขยาย 100 X

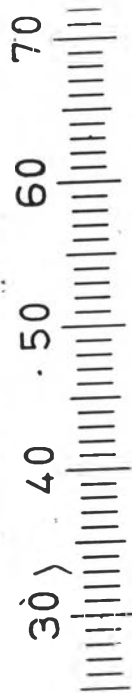


กำลังขยาย 500 X

รูปที่ 4.17 ภาพซีลโฟลด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 23 ในทิศทางการขึ้นรูป ซึ่งแสดงถึง การควบคุมรูปร่างของอินคลูชันใต้อ่างสมบูรณ์ ไม่เกิดการยึดตัวจากการขึ้นรูป

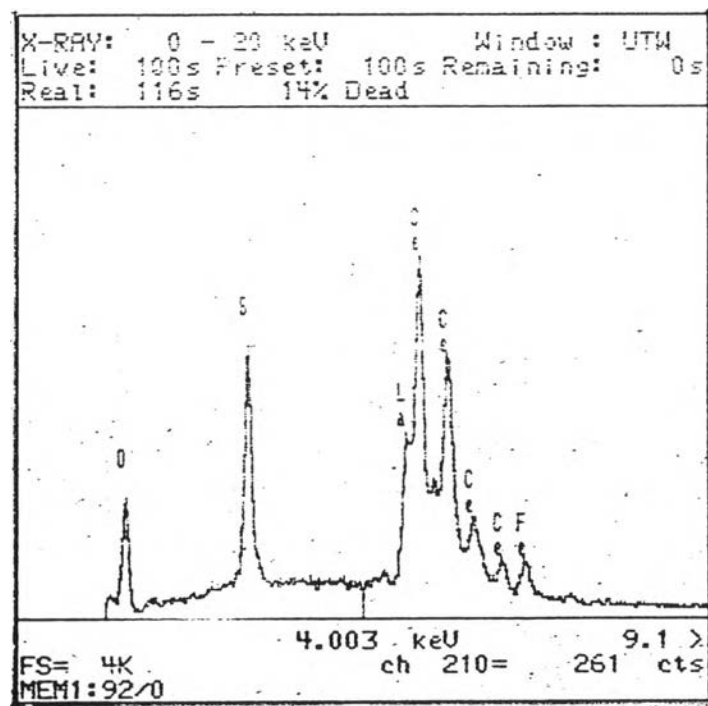
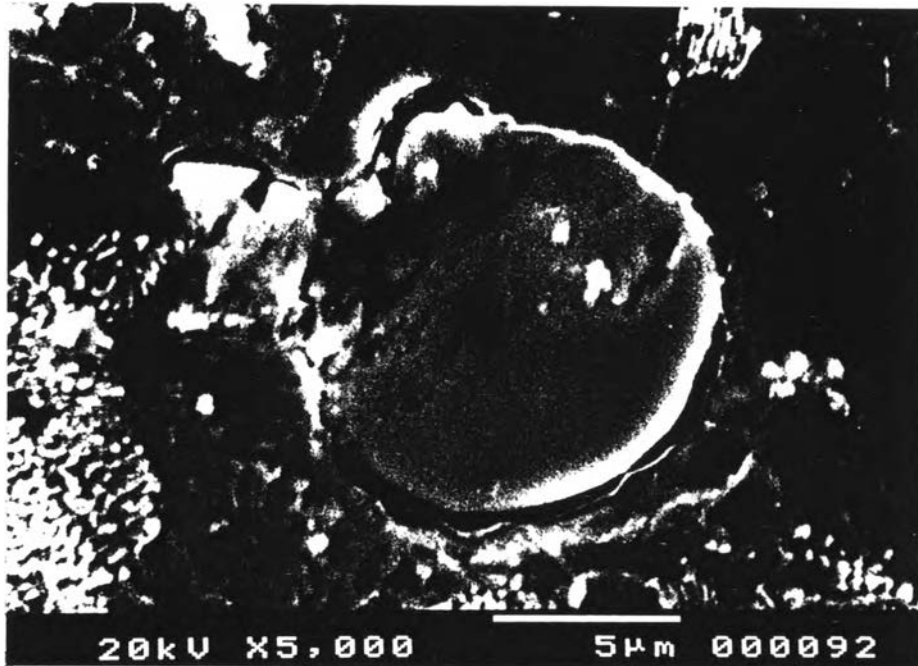


กำลังขยาย 100 X



กำลังขยาย 500 X

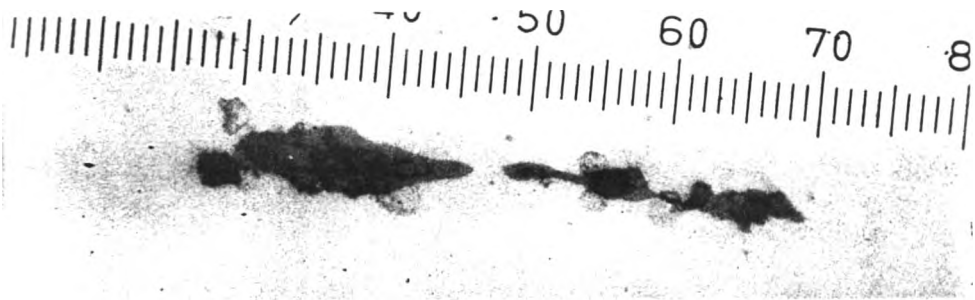
รูปที่ 4.18 ภาพคลื่นไฟฟ้าอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 23 ในทิศทางขวางการขึ้นรูป ซึ่งแสดงถึงการควบคุมรูปร่างของอินคลูชันอย่างสมบูรณ์ไม่เกิดการยึดตัวจากการขึ้นรูป



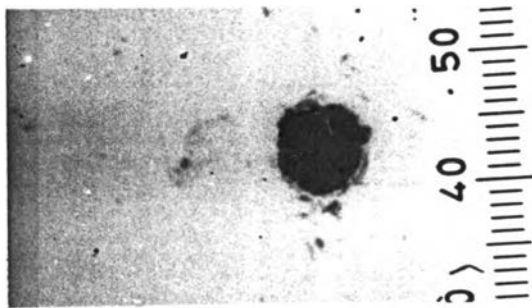
รูปที่ 4.19 ภาพสัณฐานวิทยาของชิ้นงานหมายเลข 23 ที่กำลังขยาย 5000 X และผลการพิสูจน์ธาตุพบว่าเป็นแร่เอิร์ทออกไซด์ซิลิไซด์โดยสมบูรณ์ มีรูปร่างลักษณะกลม



ชิ้นงานหมายเลข 11

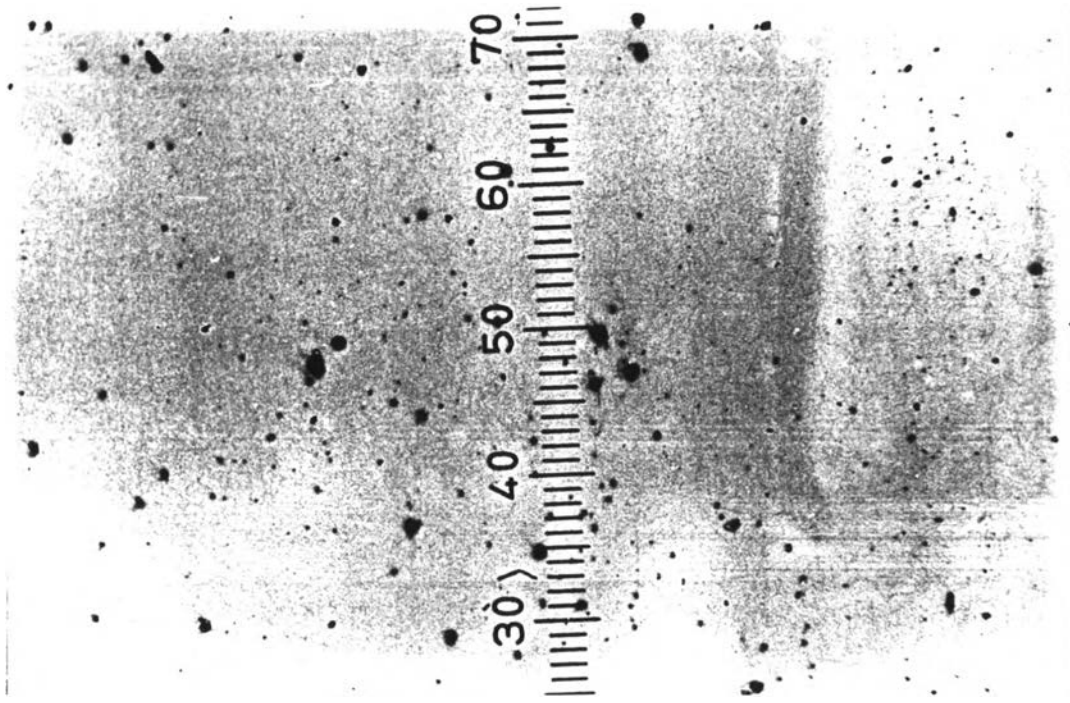


ชิ้นงานหมายเลข 22

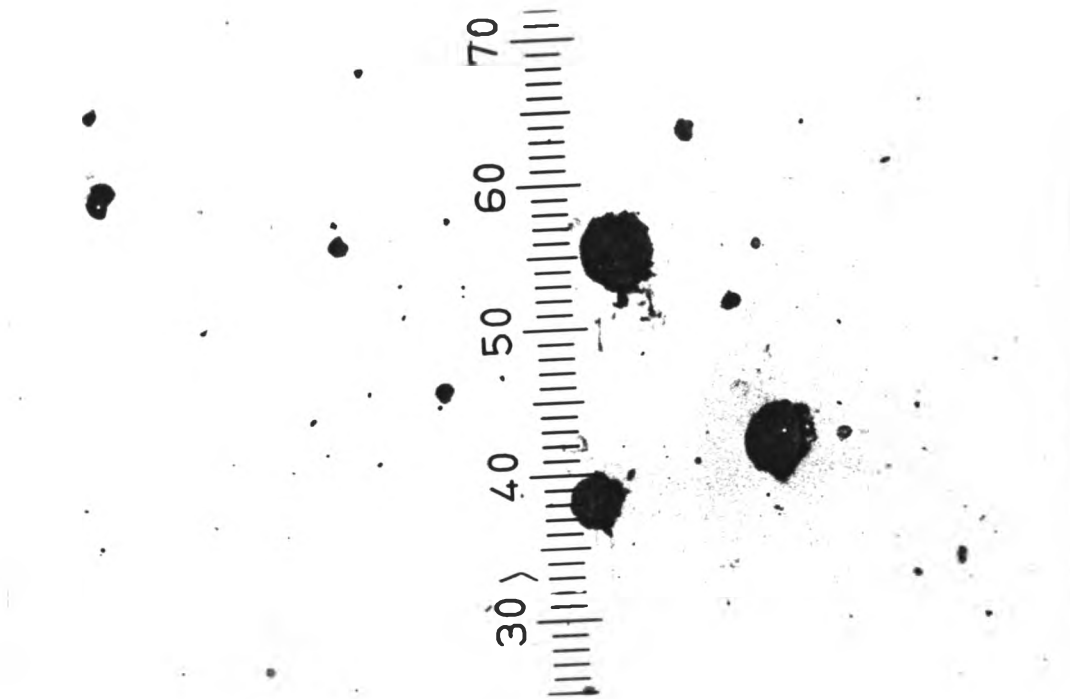


ชิ้นงานหมายเลข 23

รูปที่ 4.20 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของซิลไฟด์อินคลูชัน อันเนื่องมาจากการใส่ MM. จากชิ้นงานหมายเลข 11, 22 และ 23 ในทิศทาง การขึ้นรูป ที่กำลังขยาย 500 X พบว่าสามารถควบคุมรูปร่าง จากการยึดตัวเต็มทีในชิ้นงาน หมายเลข 11 (โมไฟส MM.) จนไม่เกิดการยึดตัวได้อย่างสมบูรณ์ที่ชิ้นงาน หมายเลข 23 (Ce:S เท่ากับ 1.47)

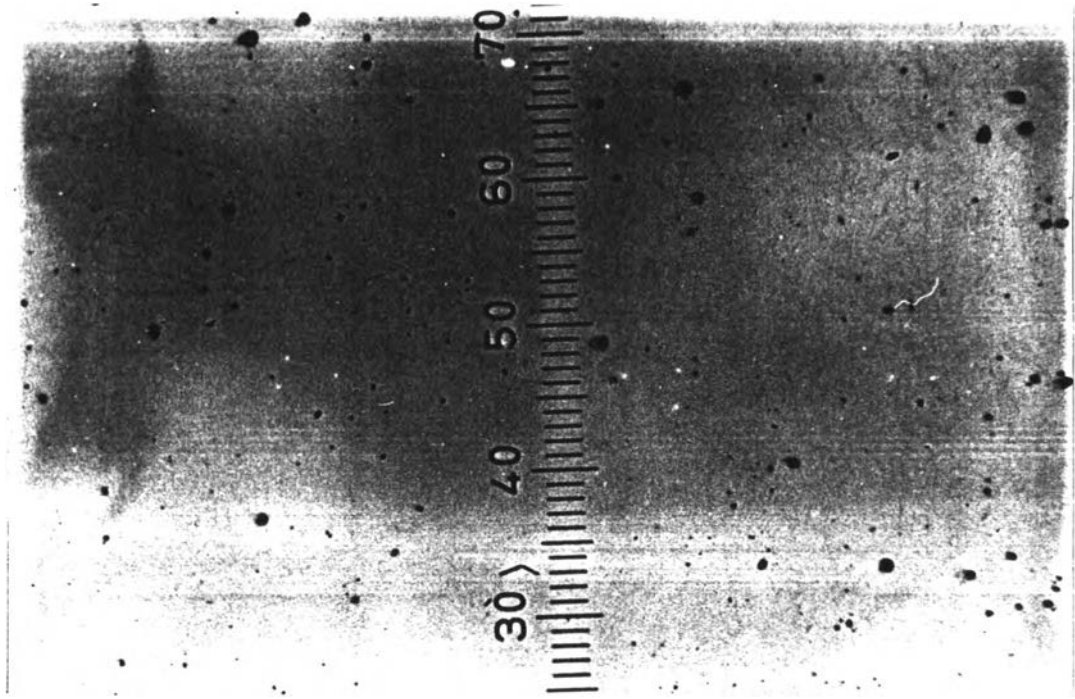


กำลังขยาย 100 X

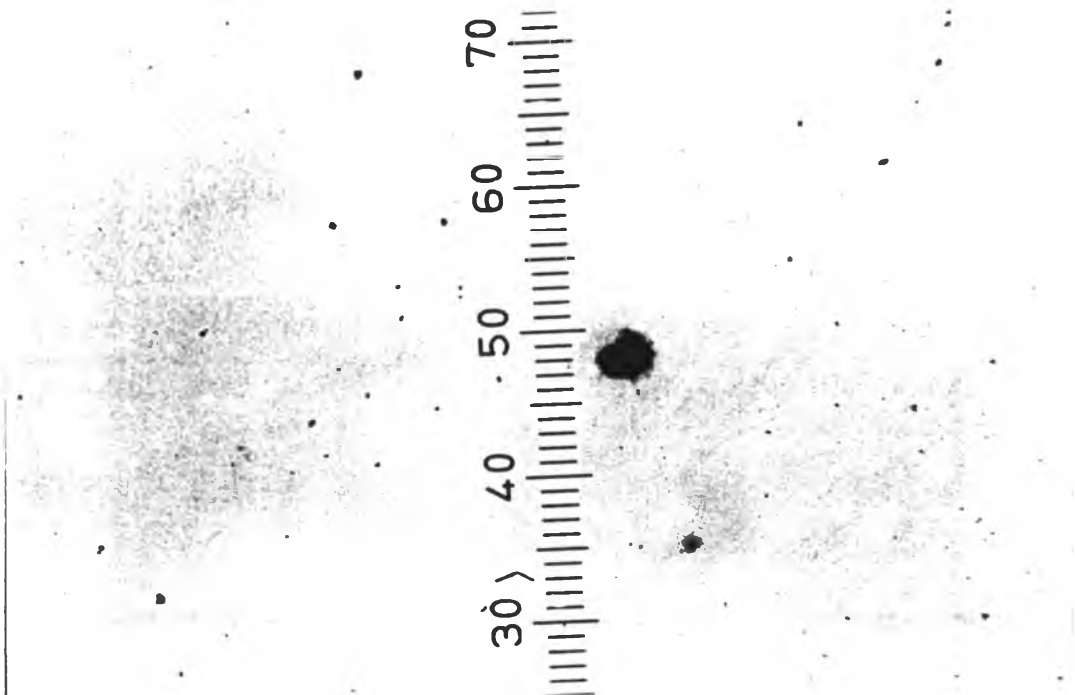


กำลังขยาย 500 X

รูปที่ 4.21 ภาพจุลทรรศน์อิเล็กตรอนของอินงานหมายเลข 27 ในทิศทางกรีนรูป ซึ่งแสดงถึงการควบคุมรูปร่างของอินคลูชันได้อย่างสมบูรณ์และมีขนาดเล็กกว่า ในอินงานหมายเลข 23

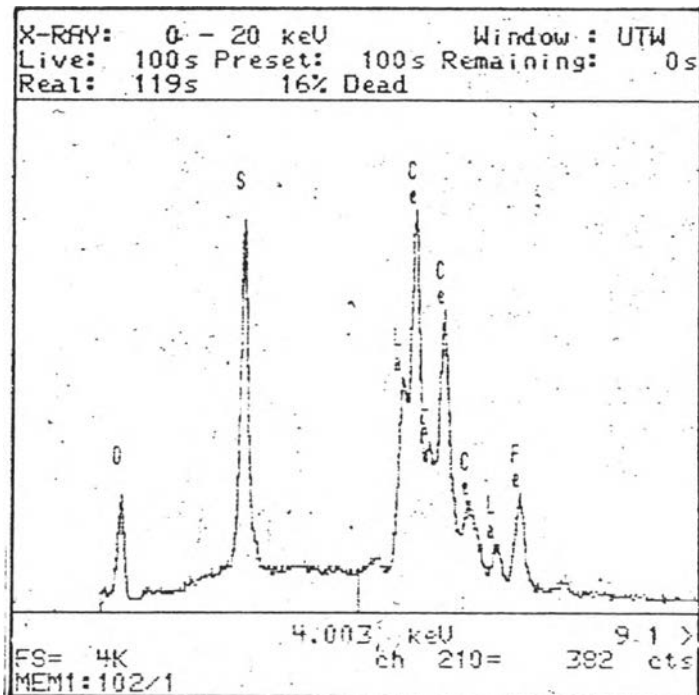


กำลังขยาย 100 X

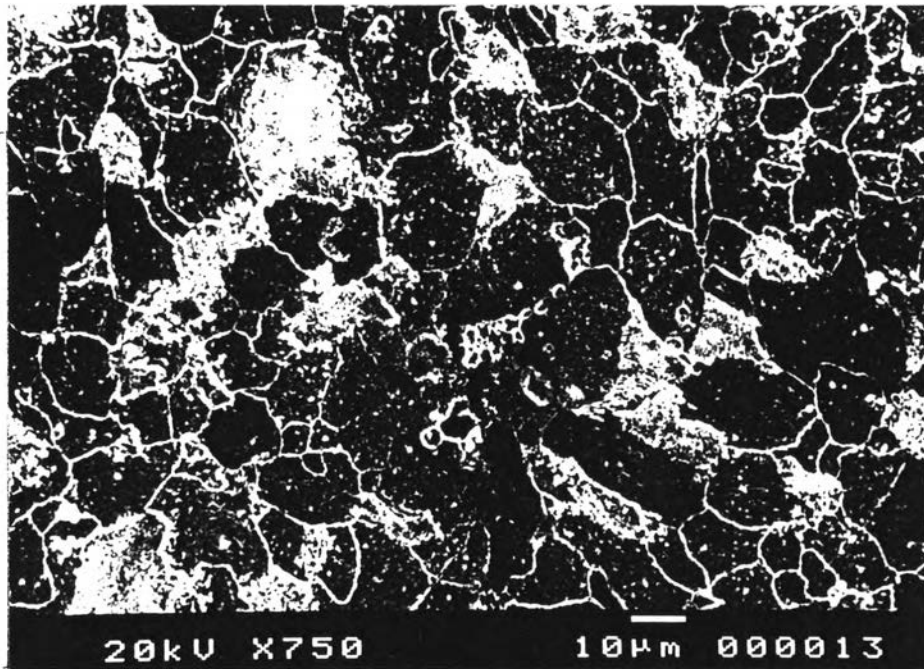


กำลังขยาย 500 X

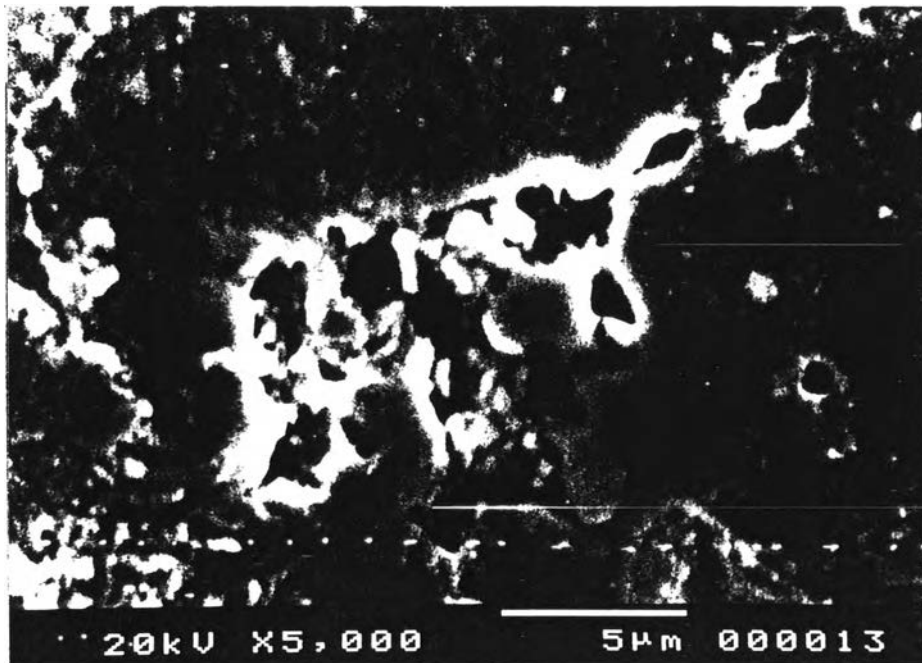
รูปที่ 4.22 ภาพสไลด์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 27 ในทิศทางขวาง การขึ้นรูป ซึ่งแสดงถึงการควบคุมรูปร่างของอินคลูชันได้อย่างสมบูรณ์และมีขนาดเล็กกว่า ในชิ้นงานหมายเลข 23



รูปที่ 4.23 ภาพสัณฐานวิทยาของชิ้นงานหมายเลข 27 ที่กำลังขยาย 5000 X และผลการพิสูจน์ธาตุพบว่าเป็น แร่เอิร์ทออกไซด์สังกะสีโดยสมบูรณ์ มีรูปร่างกลม ขนาดเล็ก

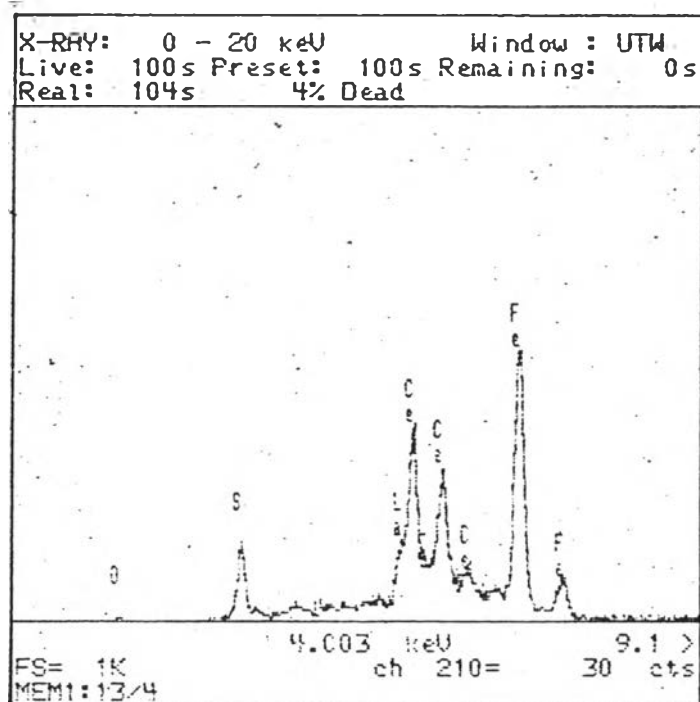
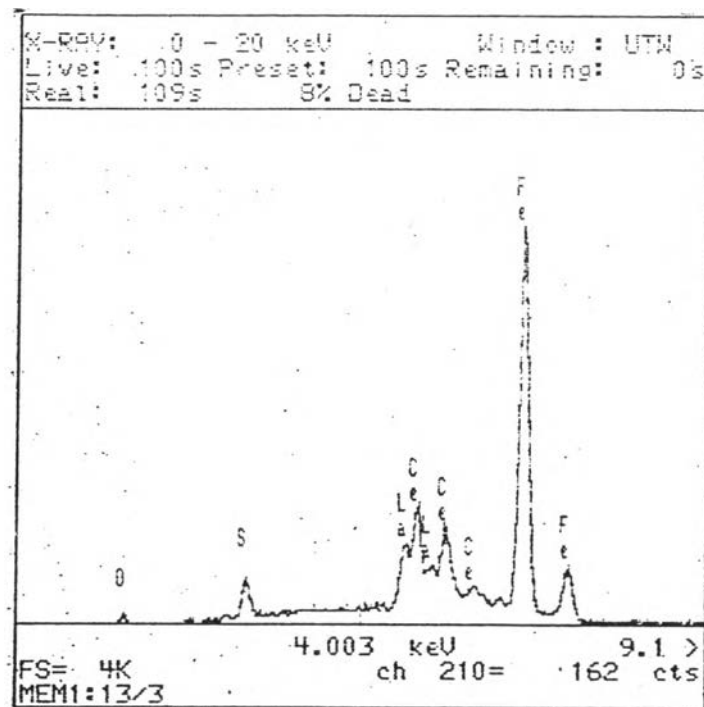


กำลังขยาย 750 X



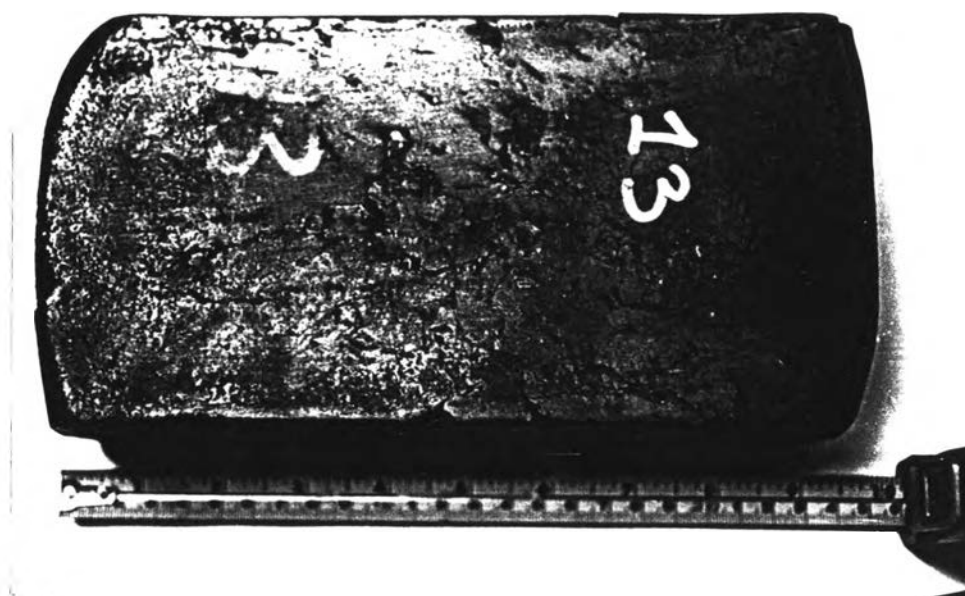
กำลังขยาย 5000 X

รูปที่ 4.24 การดกผลึกของสารประกอบที่ขอบเกรนของชิ้นงานหมายเลข 27

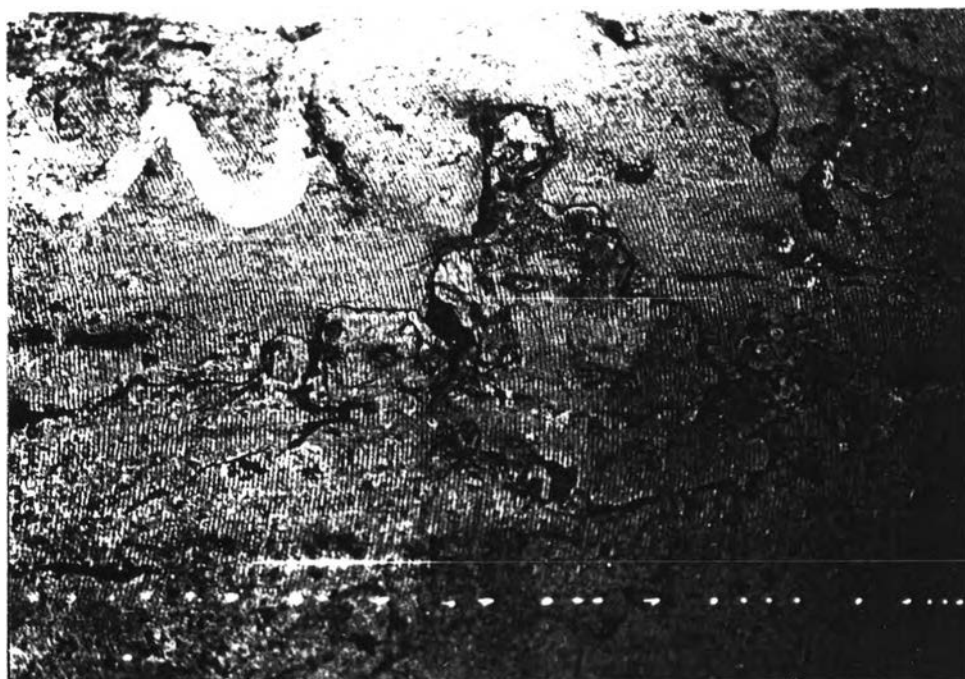


รูปที่ 4.25 ผลการพิสูจน์ธาตุ จากรูป 4.24 โดย SEM.

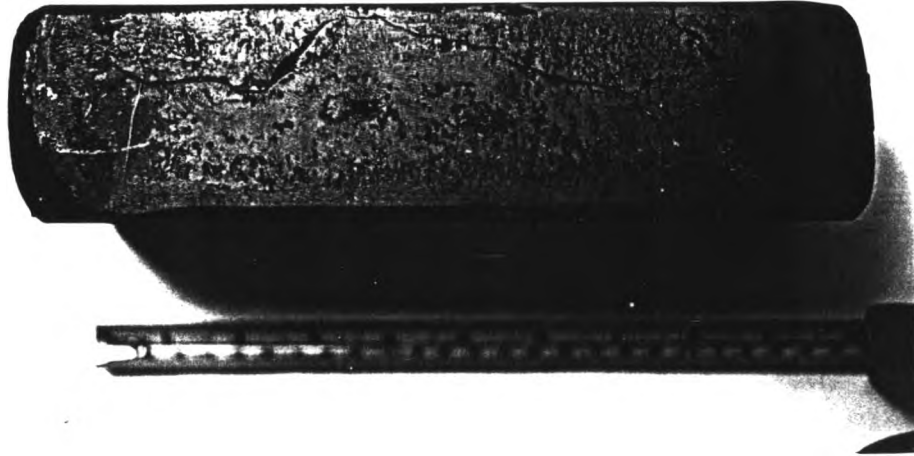
พบว่าเป็น เหล็ก-คาร์ไบด์



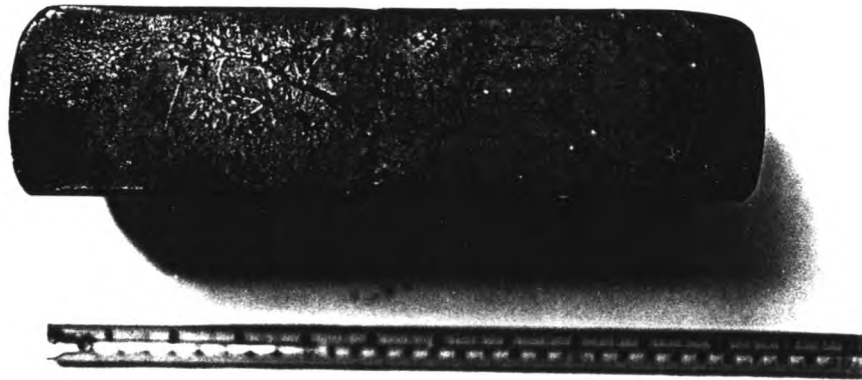
รูปที่ 4.26 แสดงรอยแตกบนผิวหน้าด้านบนของชิ้นงานหมายเลข 27
หลังจากผ่านการชุบขึ้นรูปร้อน, กำลังขยาย 0.44 X



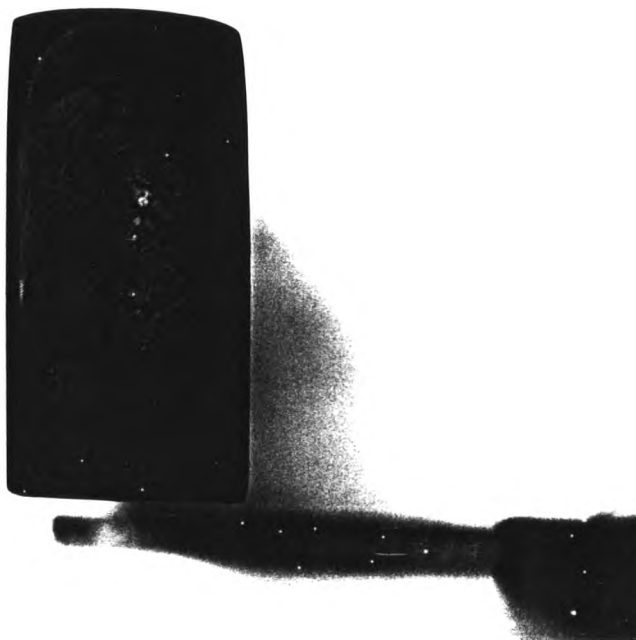
รูปที่ 4.27 แสดงรอยแตกบนผิวหน้าด้านบนของชิ้นงานหมายเลข 27
หลังจากผ่านการชุบขึ้นรูปร้อน, กำลังขยาย 1.2 X



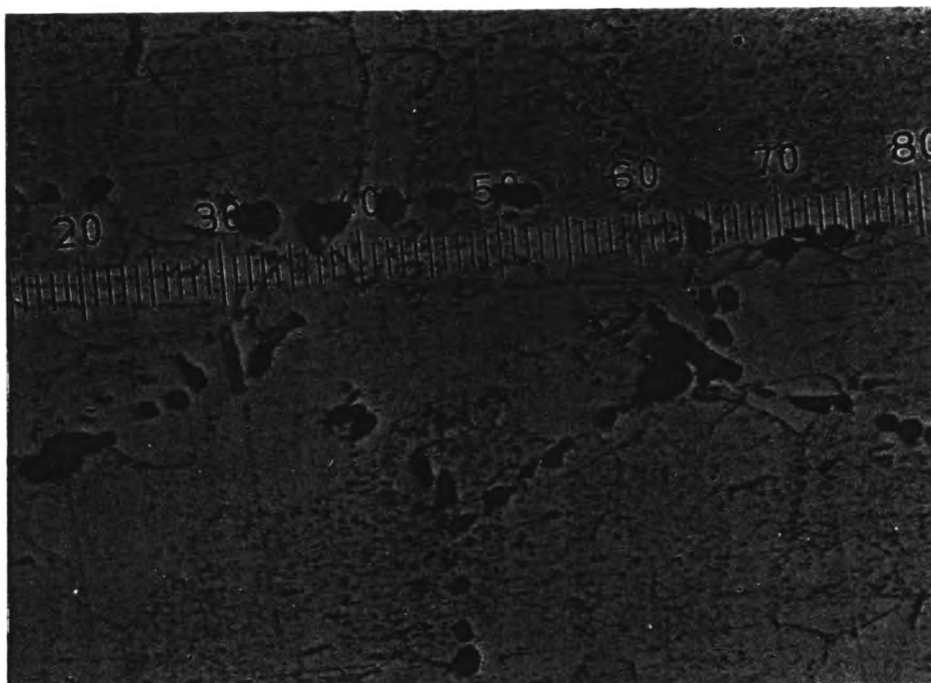
รูปที่ 4.28 แสดงรอยแตกบนผิวหน้าด้านข้างของชิ้นงานหมายเลข 27
หลังจากผ่านการทาบขึ้นรูปร้อน, กว้างขยาย 0.44 X



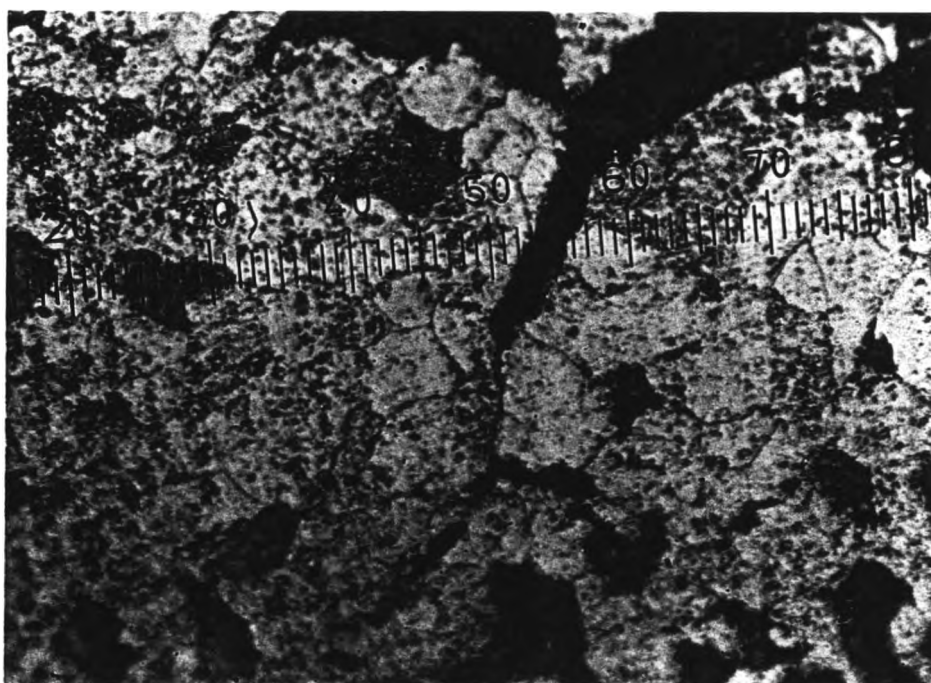
รูปที่ 4.29 แสดงรอยแตกบนผิวหน้าด้านข้างของชิ้นงานหมายเลข 27
หลังจากผ่านการทาบขึ้นรูปร้อน, กว้างขยาย 0.44 X



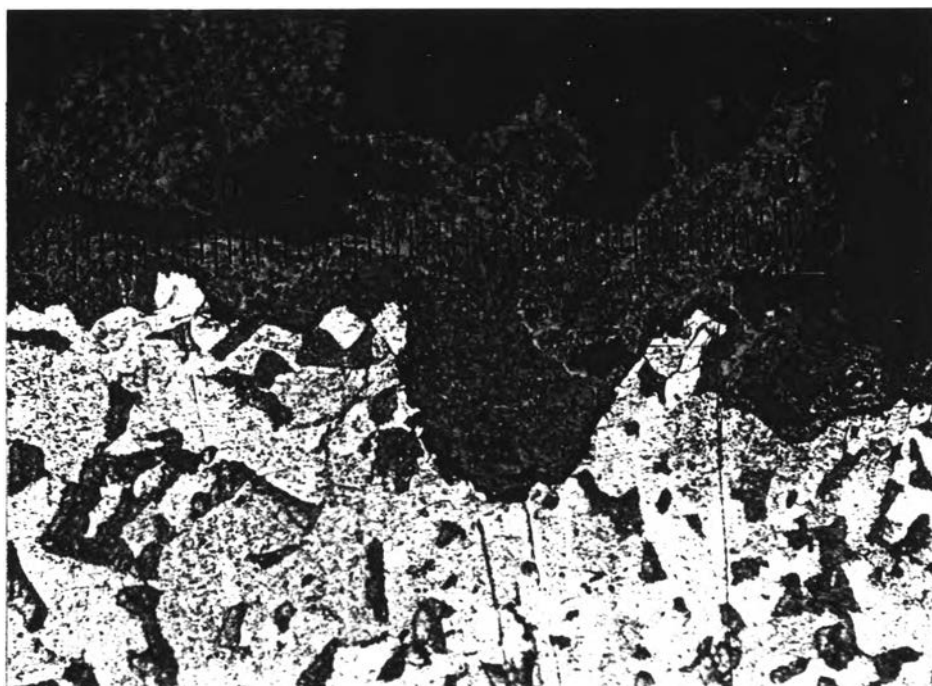
รูปที่ 4.30 แสดงรอยแตกบนผิวหน้าด้านหน้าของชิ้นงานหมายเลข 27
หลังจากการทุบขึ้นรูปร้อน, กำลังขยาย 0.53 X



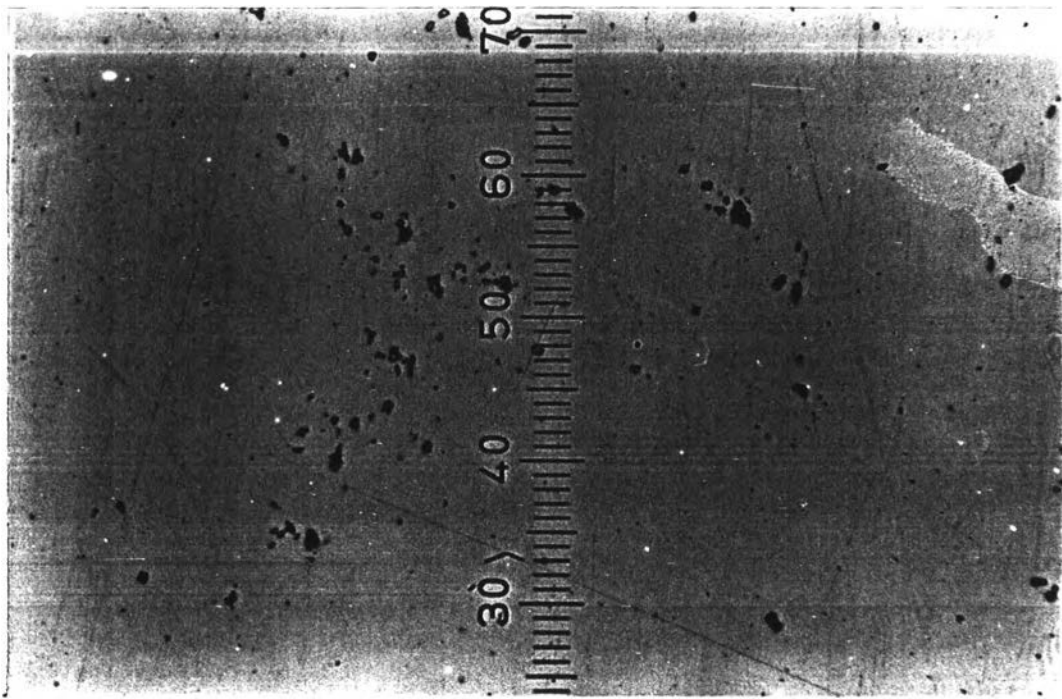
รูปที่ 4.31 ภาพซีลไฟดอินคลูชันตามขอบเกรนพบบริเวณรอยแตก
จากรูป 4.26 ถึง 4.30, กำลังขยาย 500 X



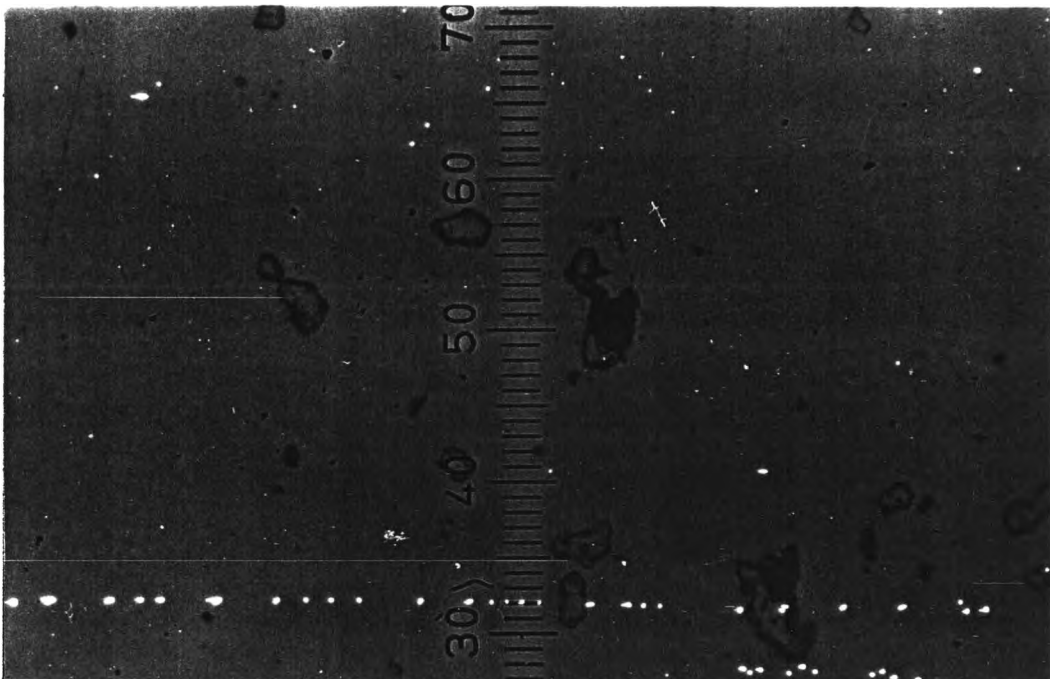
รูปที่ 4.32 แสดงรอยแตกของชิ้นงานหมายเลข 27 ซึ่งเป็นการ
แตกตามขอบเกรน, กัดกรดด้วย Nital 2%
กำลังขยาย 500 X



รูปที่ 4.33 แสดงรอยแตกของชิ้นงานหมายเลข 27 ซึ่งเป็นการแตกตามขอบเกรน, กัดกรดด้วย Nital 2%
กำลังขยาย 200 X

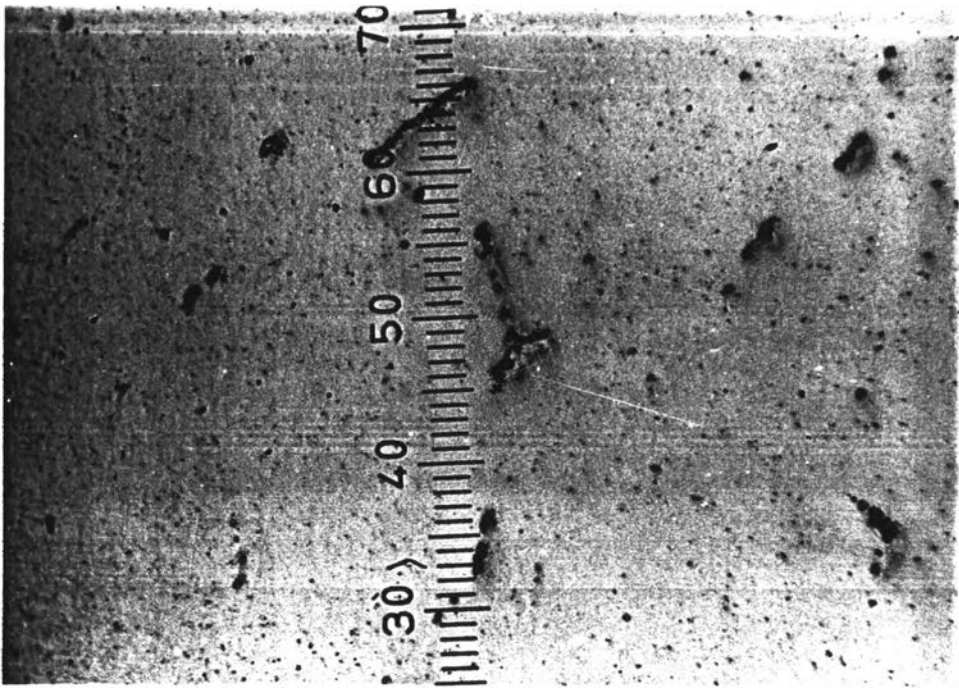


กำลังขยาย 100 X

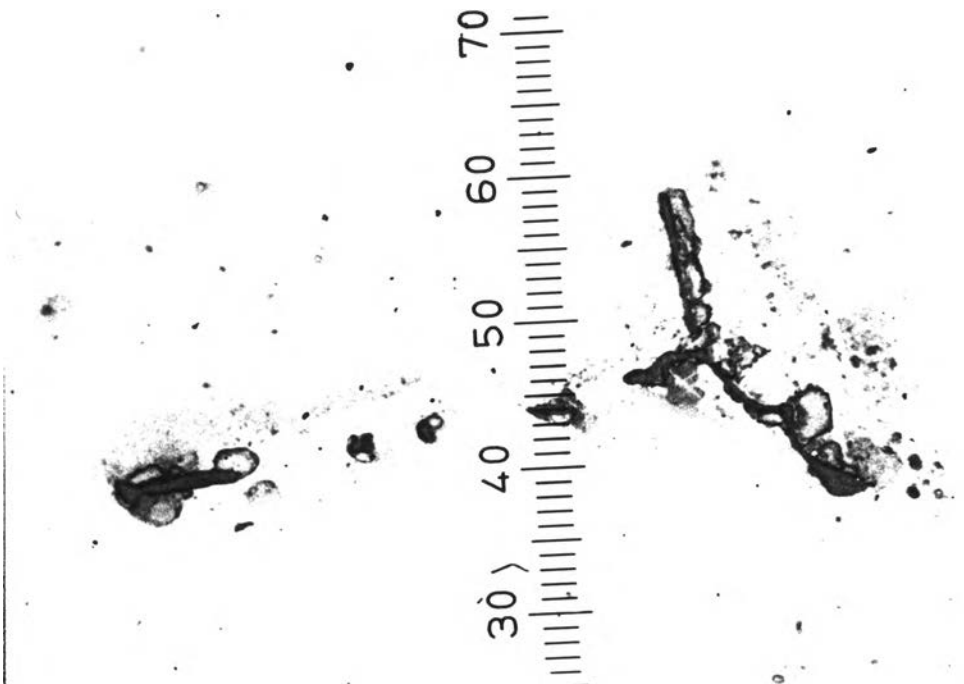


กำลังขยาย 500 X

รูปที่ 4.34 การกระจุกตัวของซิลไฟด์อินคลูชันในชิ้นงานหมายเลข 31 และอินคลูชันไมอิดตัวความการขึ้นรูป มีขนาดเล็ก มีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุม

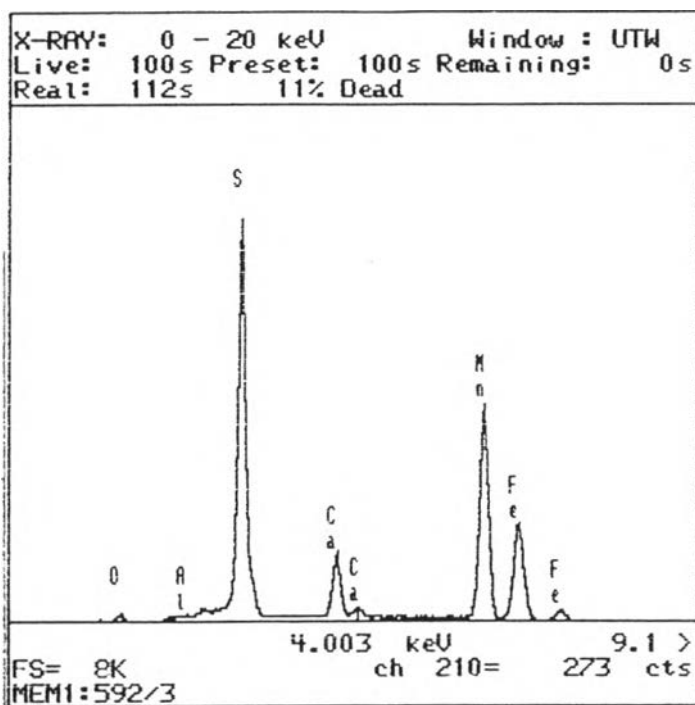
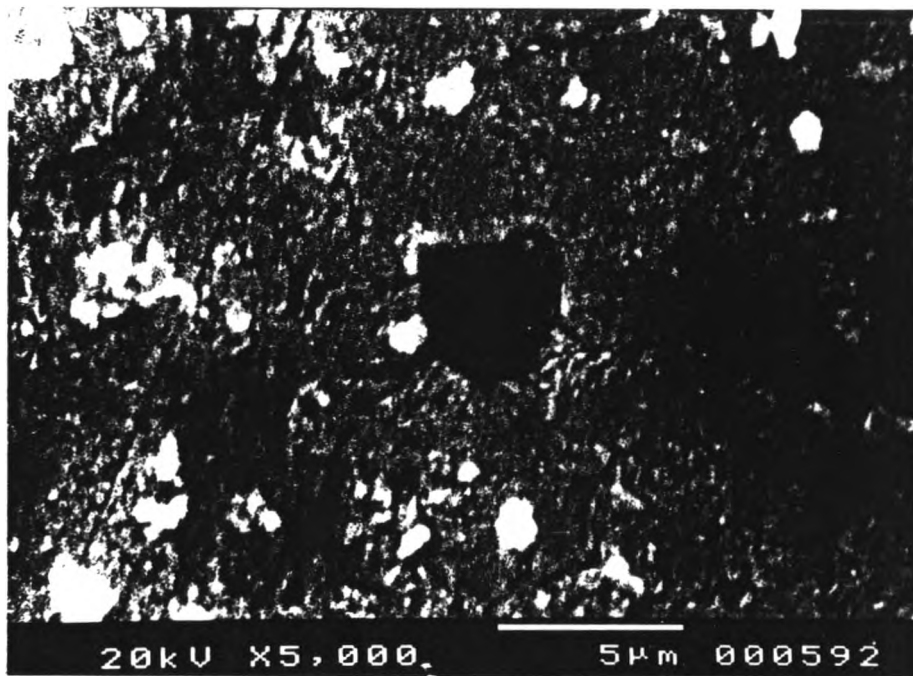


กำลังขยาย 100 X



กำลังขยาย 500 X

รูปที่ 4.35 ภาพצלไฟค์อินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 31 ส่วนที่มีการยึดตัว



รูปที่ 4.36 ภาพสเปกตรัมอินคลูชันของชิ้นงานหมายเลข 31 ที่กำลังขยาย 5000 X และผลพิสูจน์ธาตุพบว่าประกอบด้วย แคลเซียมซิลิไซด์, แมงกานีสซิลิไซด์ และ เหล็กซิลิไซด์

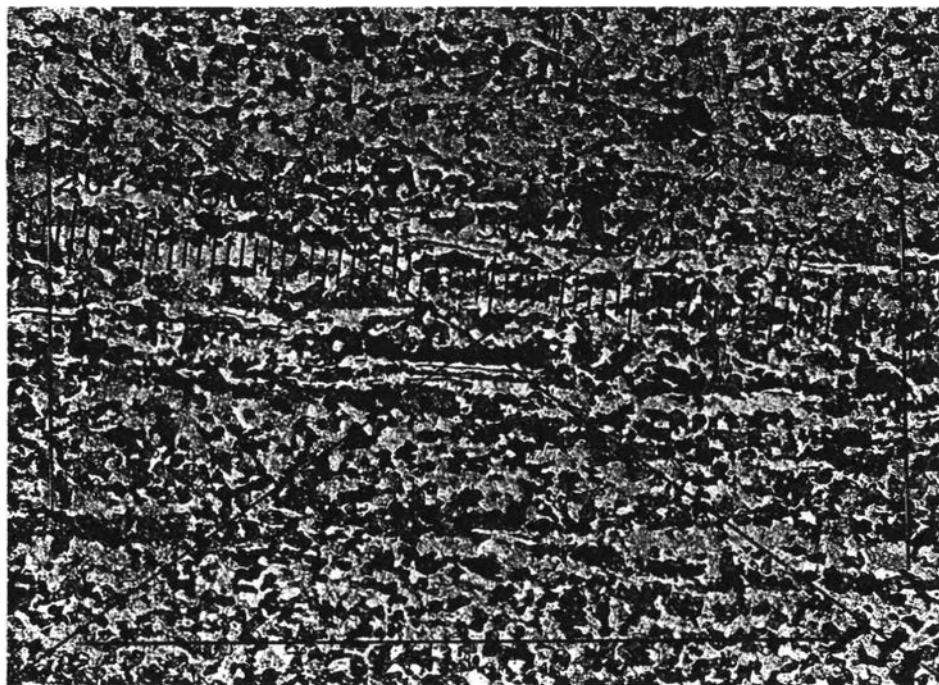
ตารางที่ 4.3 ขนาดของซิลิไซด์อินคลูชันและธาตุที่พบ

ชิ้นงานหมายเลข	ความยาวอินคลูชัน (ไมครอน)	อัตราส่วนความยาวต่อ ความกว้างของอินคลูชัน	ธาตุที่พบ
10	38	2	S, Mn, O
11L	93	37	S, Mn, O
11T	63	19	S, Mn, O
22L	61	11	S, Mn, O, Ce, Al
22T	46	4	S, Mn, O, Ce, Al
23L	18	1	S, Ce, O
23T	20	1	S, Ce, O
27	12	1	S, Ce, O, Fe
31	9	2	S, Ca, Mn, O, Fe

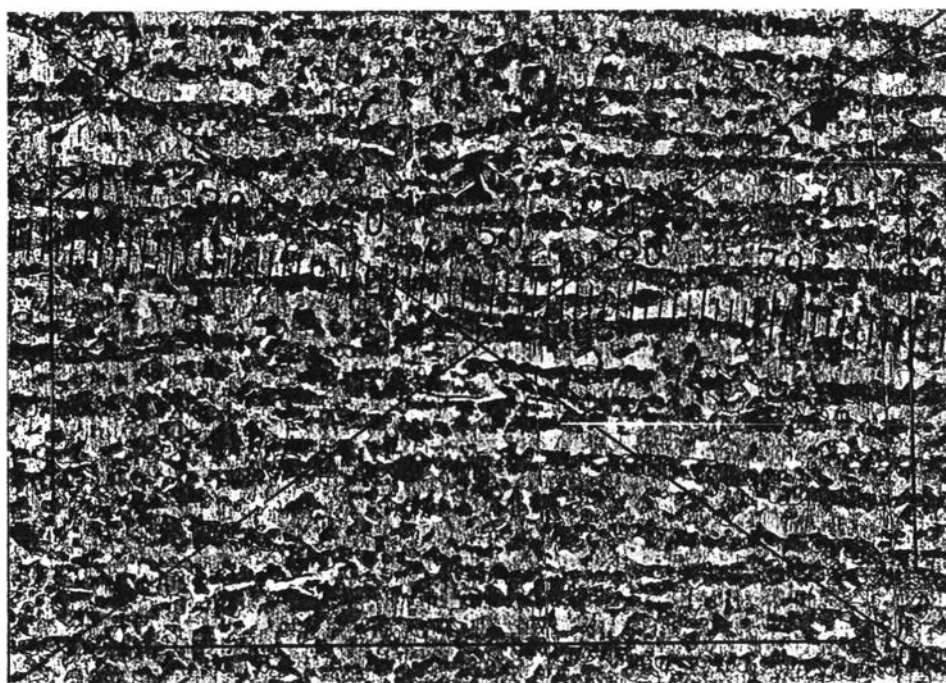
L = ทิศทางการขึ้นรูป

T = ทิศทางขวางการขึ้นรูป

การวัดขนาดเกรน โดยใช้มาตรฐานการวัดขนาดเกรนตาม ISO 643-1983



รูปที่ 4.37 การวัดขนาดเกรนของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางการขึ้นรูป
กำลังขยาย 100 X



รูปที่ 4.38 การวัดขนาดเกรนของชิ้นงานหมายเลข 22 ในทิศทางขวางการ
ขึ้นรูป ที่กำลังขยาย 100 X

การวัดขนาดเกรนของชิ้นงานทดลองทั้งหมดได้ใช้วิธี Linear
Intersected Segment Method ตาม ISO 643-1983 ซึ่งค่า Mean
Intersected Segment ทั้งหมดจะอยู่ในช่วง 0.010 ถึง 0.020 มิลลิเมตร
ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 4.37 และ 4.38