รายการอ้างอิง

1. T.Gladman. Physical Metallurgy in HSLA Steels Theory and Practice, HSLA Proceeding Conference, p.67.New York,1995.
2. F.Heisterkamp, and L.Meyer. Thyssen Forschung 1971: p.3.
3. A.M. Sage. An Overview of the Use of Microalloys in HSLA Steels with Particular Reference to Vanadium and Titanium, HSLA Steels : Processing, Properties and Applications, pp. 51-57. Warrendale USA, 1992.
4. W.B.Morrison, and J.Woodhead. JISI 1963, 201: p.43.
5. M.Umemoto, N.Nishioka, and I.Tamura. Trans. Iron and Steel Inst. Japan 1982,22: p.629.
6. J.M.Gray, and A.J.DeArdo. HSAL Steels Metallurgy and Applications, ASM Int., pp.83-96. USA, 1986.
7. S.S.Hansen, J.B.Vander Sande, and Morris Cohen, Met. Trans. 1980, vol11A: p.389.
8. K.J.Irvin, F.B.Pickering, and T.Gladman. J.Iron Steel Institute 1967: pp.161-162.
9. T.George, and J.Irane. J.Australian Inst. Metals 1968,13: p.93.
10. T.Gladman, Proc. Roy. Soc. 1996, vol. A294 : p.298.
11. W.J.McG. Tegart, and A.Gittins. The Hot Deformation of Austenite, American institute of mining, metallurgical and petroleum engineers1977: pp. 1-67.
12. H.J.Mcqueen. J.Metallurgical 1968,20 :pp. 31-38.
13. C.M.Sellars and J.A.Whiteman. Product Technology Conference on Controlled Processing of HSLA Steels. New York, 1976
14. M.Machida, M.Katsumata, and H.Kaji, Steel-rolling, Iron and Steel Institute of Japan 1980: pp.1249-60.
15. T.Tanaka. Four stage of thermomechanical processing in HSLA steel. In D.D.Dunne and T. Chandra, Proceeding of International Conference on HSLA Steel, p8. Wollongong Austalia, 1984.
16. Cold Rolled Steel Sheets-Technology and Products in Japan. Edited by Cold Strip Committee, Technical Society, Imagineer Corp, 2000, pp. 93-98.
17. R.Barbosa, F.Boratto, S.Yue, and J.J.Jonas. In A.J. DeArdo(ed.), Conference on Processing Microstructure and Properties of HSLA Steel, p. 51.Warrendale PA: TMS,1988.

18. C.Ouchi, T.Sampei, and I.Kozasu, Trans ISIJ 1982, 22: pp. 215-222.

19. L.J.Cuddy. In A.J. DeArdo(ed.), Proceeding of International Conference on Thermomechanical Processing of Microalloyed Austenite, Pittburgh: AIME, 1982.

20. I.Tamura, C.Ouchi, T.Tanaka, and H.Sekine. Thermomechanical Processing of HSLA Steels. Butterworth&Co.Ltd., 1988.

21. A.Sandberg, and W.Reberts. In A.J.DeArdo(ed), Proceeding of Thermomechanical Processing of Microalloyed Austenite, pp. 405-431. Met.Soc.AIME, 1982.

22. C. Ouchi, T.Sampei, T.Okita, and I.Kozasu. The Hot Deformation of Austenite. American institute of mining, metallurgical and petroleum engineers 1977: pp.316-340.

23. E.E.Underwood.Quatitative Microscopy. New York: McGraw Hill Book Co., 1968.

24. P.E.Repas, Hot-rolled Nb-Ti and Nb-Ti-V sheet steels with 415 to 620 MPa yield strength, Metallurgy and Application of HSLA Steels Conference Proceeding, pp. 933-940.Ohio: ASM

25. G.Krauss. Steels: Heat Treatment and Processing Principles, ASM Int. 1995: pp. 21-23, 118-125.

26. P.E.Repas. Laboratory and Production experince with Cb-Ti Steels for HSLA Rolled Sheet, HSLA Steels-Metallurgy and Application, p.933. Metals Park, Ohio:ASM, 1986.

27. G.Tither. Recent Devolopements in Automotive Hot-Rolled Strip Steels,"The Effect of Microalloys on The Hot Working Behavior of Ferrous Alloys", 8th Process Tech. Conference, p.51. Warrendale PA ; The Iron and Steel Society, Inc., 1989.

28. L.Rong-ging and L.Jing-shan. Application of Nb-Ti Combined Microalloying. p.143. Ohio:ASM, 1986.

29. L.Meyer, F.Heisterkamp, and W.Columbium. Titanium and vanadium in normalized, thermomechanically treated and cold-rolled steels. In M.Korchynsky (ed.), Proceeding of International Conference on Microalloying 75, pp 153-167. New York : Union Carbide Corporation, 1977.

30. B.L.Bramfitt and A.R.Marder. Processing and properties of low-carbon steel. American Institute of Mining, Metallurgical and Petroleum Engineering 1973 : p191.

31. D.Sripinpoach.Strength Improvement of Nb-Ti Microalloyed Steel by Thermomechanical Treatment. Master of Engineering in Metallurgical Engineering, Department of Metallurgical Engineering, Chulalongkorn University, 1997.

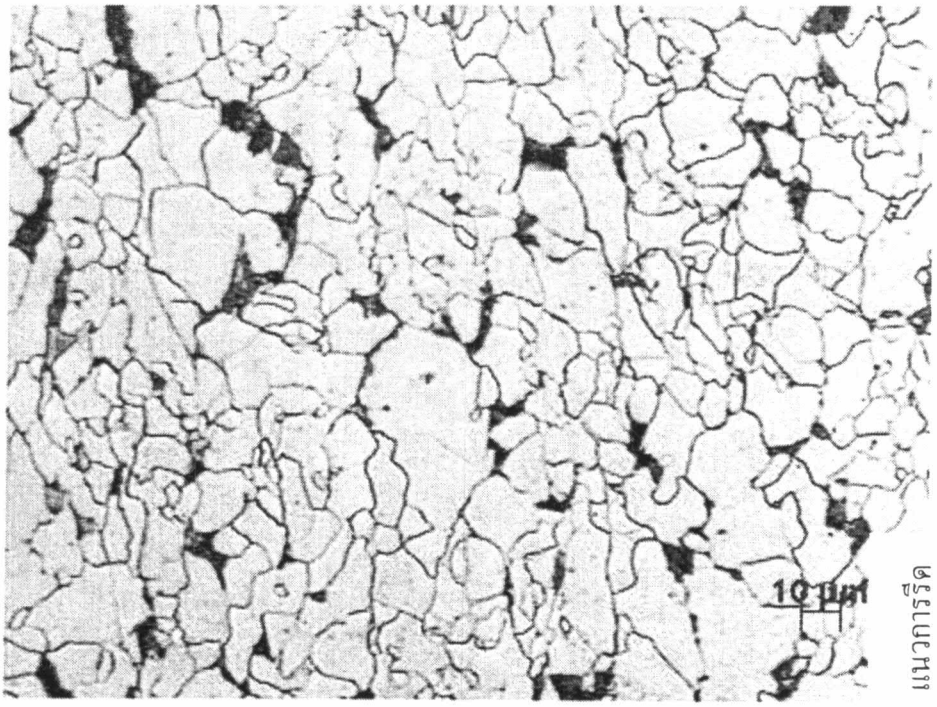
32. G.R. Killmore, G.R. Harisis, and J.G. William. Titanium Treated C-Mn, C-Mn-Nb, C-Mn-V Heavy Structural Plate Steels with Improved Notch Toughness. In D.D. Dunne and T.Chandra (eds.), Proceeding of International Conference on HSLA Steel, Wollongons Australia, 1984.

33. I. Kozasu, C. Ouchi, T. Sanpei , and T. Okita. Microalloying 75. Union Carbide Corp. 1977: p.120.

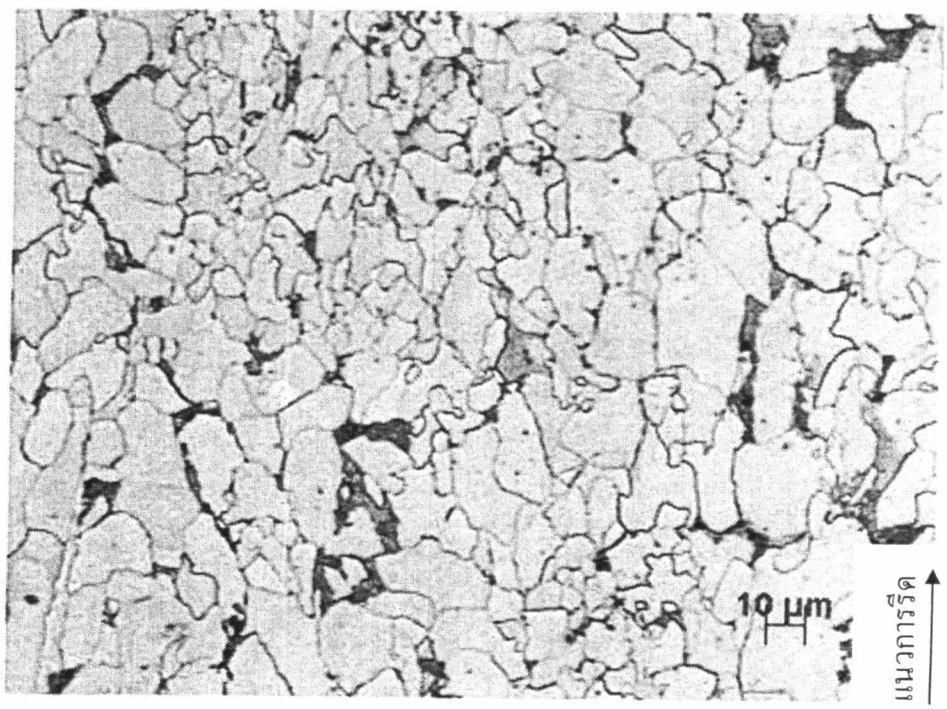
34. A.J.Craven, K.He, L.A.J.Garvie, and T.N.Baker. Complex heterogeneous precipitation in Ti-Nb microalloyed HSLA steels-(Ti,Nb)(C,N) particle. Acta Mater. 48(2000) : pp3857-3868.

35. S.G.Hong, K.B.Kang, and C.G.Park. Strain-induced precipitation of NbC in Nb and Nb-Ti microalloyed HSLA steels. Scripta Materialia 46(2002) : pp163-168.

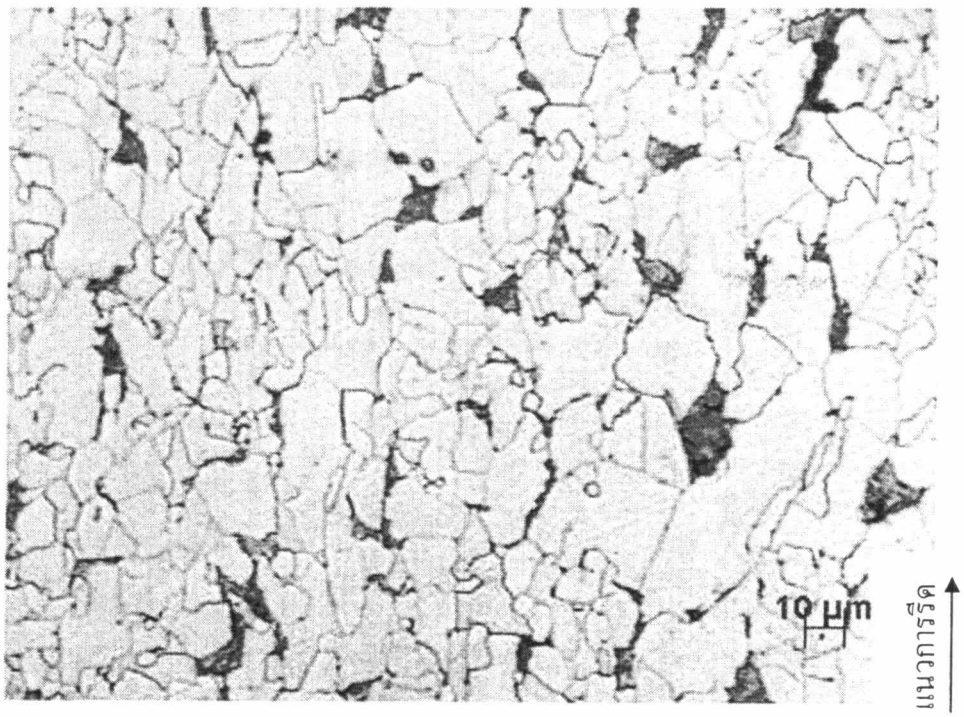
ภาคผนวก



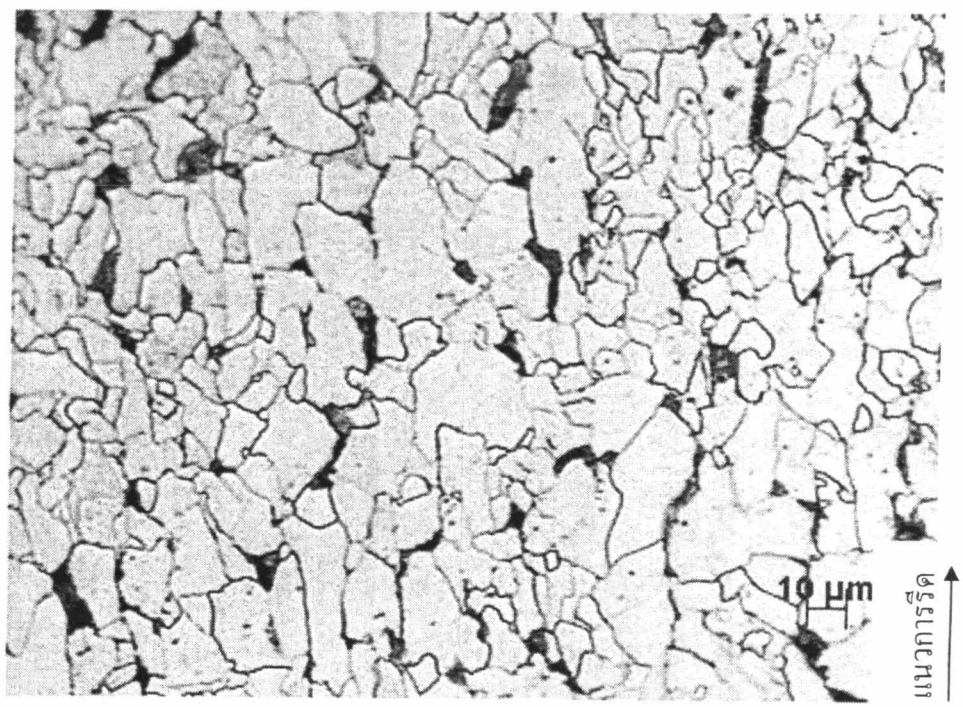
รูปที่ ก.1 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 510 °C



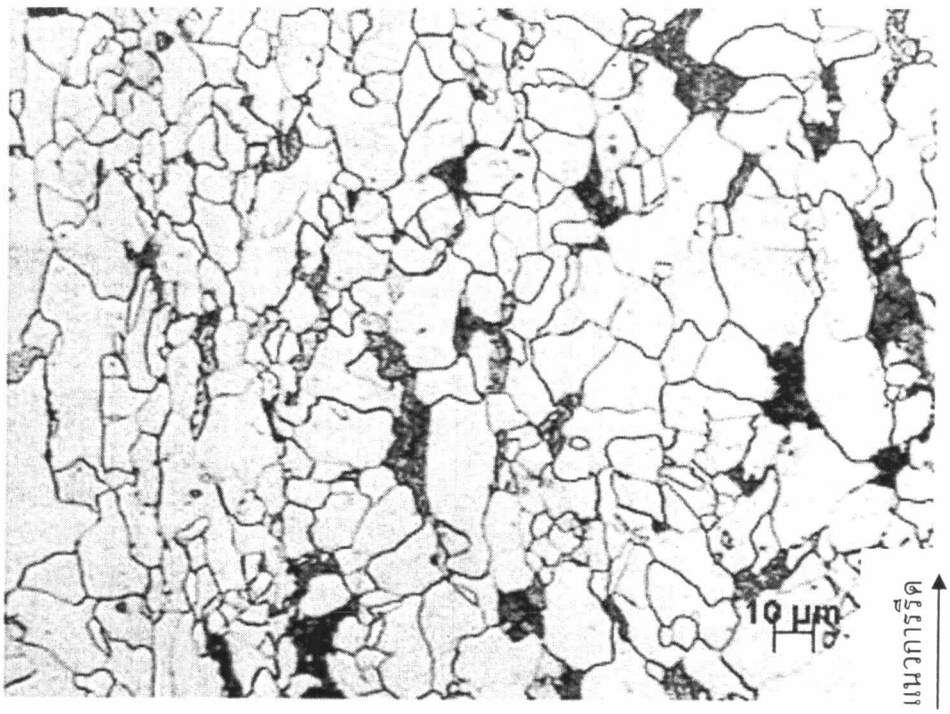
รูปที่ ก.2 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 550 °C



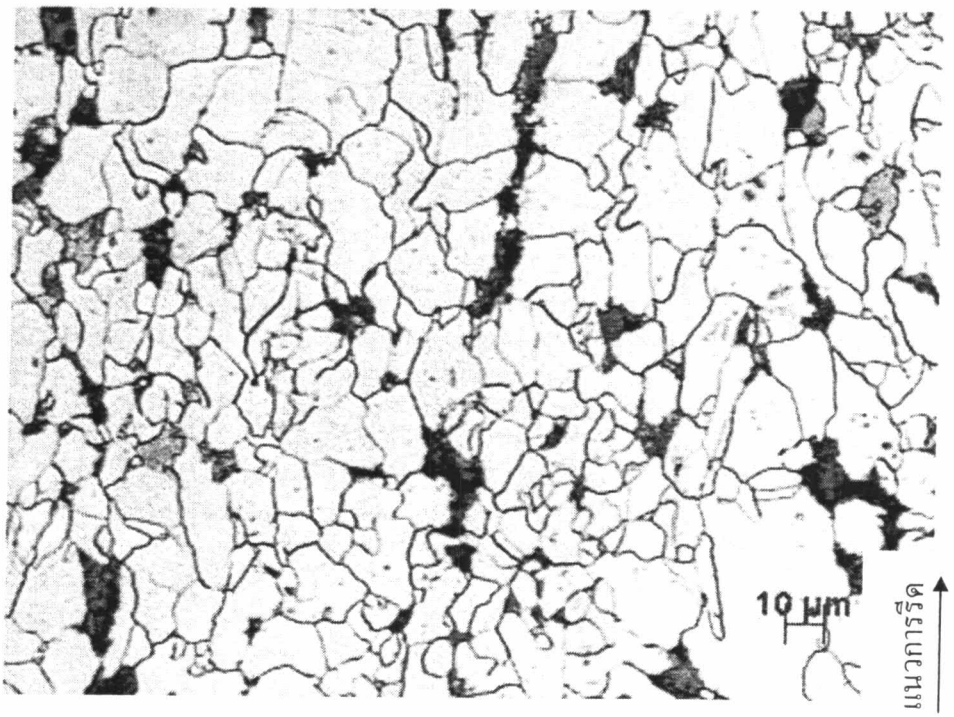
รูปที่ ก.3 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 580 °C



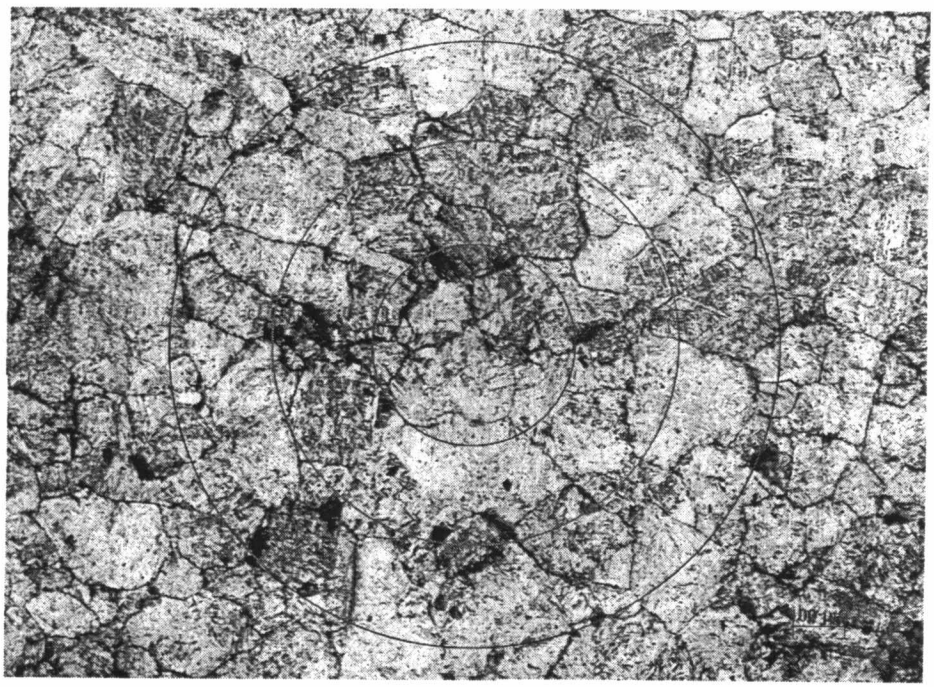
รูปที่ ก.4 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 610 °C



รูปที่ ก.5 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 640 °C



รูปที่ ก.6 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหลังการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 670 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 65 เท่า

จำนวนเกรนออสเทนไนท์ที่ตัดเส้น (N_γ) = 57.5

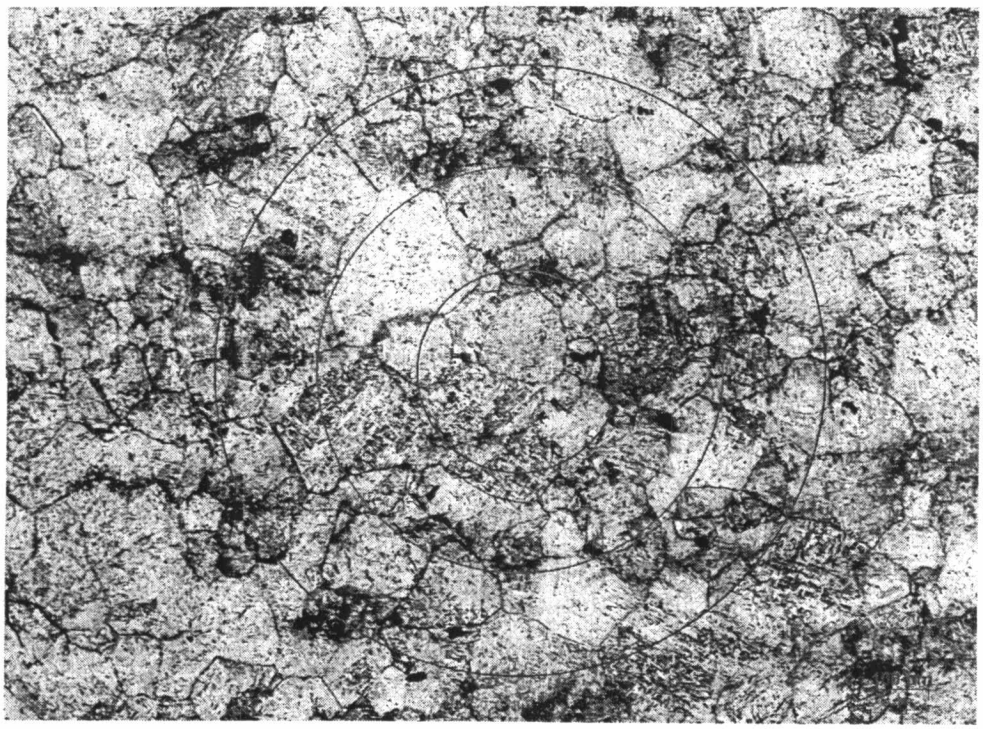
ขนาดเกรนออสเทนไนท์

$$= \frac{\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\gamma}$$

$$= \frac{\left(\frac{500 \times 10^3 \ \mu m}{65}\right)}{57.5}$$

$$= 134 \ \mu m$$

รูปที่ ก.7 วิธีการหาขนาดเกรนออสเทนไนท์ของชิ้นงานหลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,250 °C อบแช่ 30 นาที



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 65 เท่า

จำนวนเกรนออสเทนไนท์ที่ตัดเส้น (N_γ) = 57

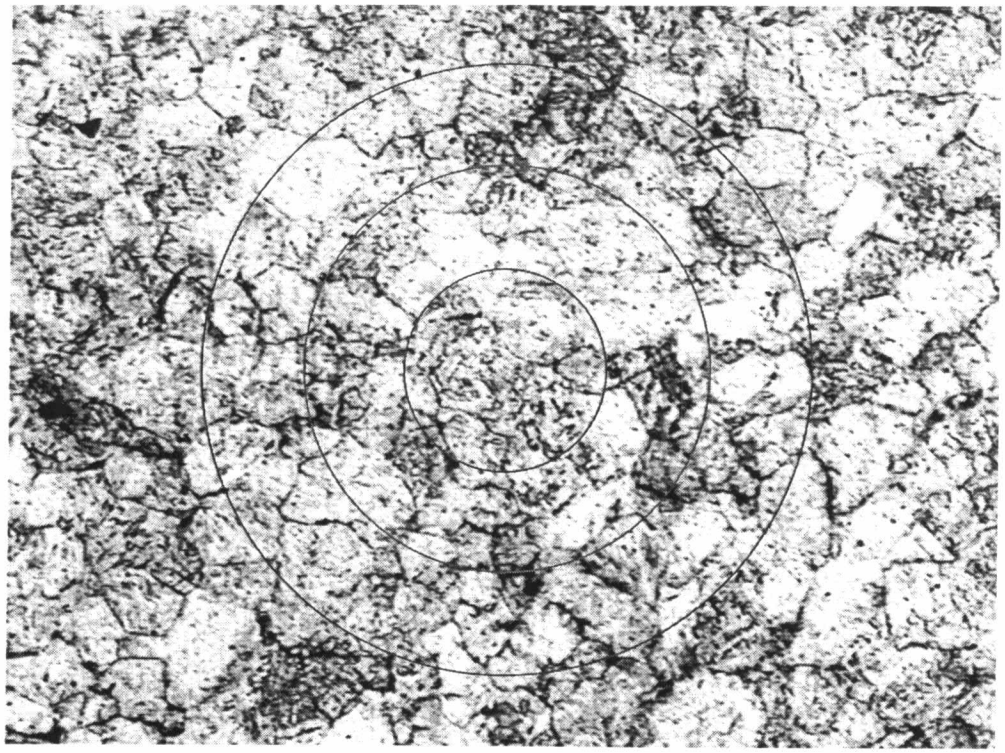
ขนาดเกรนออสเทนไนท์

$$= \frac{\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\gamma}$$

$$= \frac{\left(\frac{500 \times 10^3 \ \mu m}{65}\right)}{57}$$

$$= 135 \ \mu m$$

รูปที่ ก.7 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนออสเทนไนท์ของชิ้นงานหลังการอบให้ร้อนขึ้นอีกที่อุณหภูมิ 1,250 °C อบแช่ 30 นาที



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 140 เท่า

จำนวนเกรนออสเทนไนท์ที่ตัดเส้น (N_γ) = 65

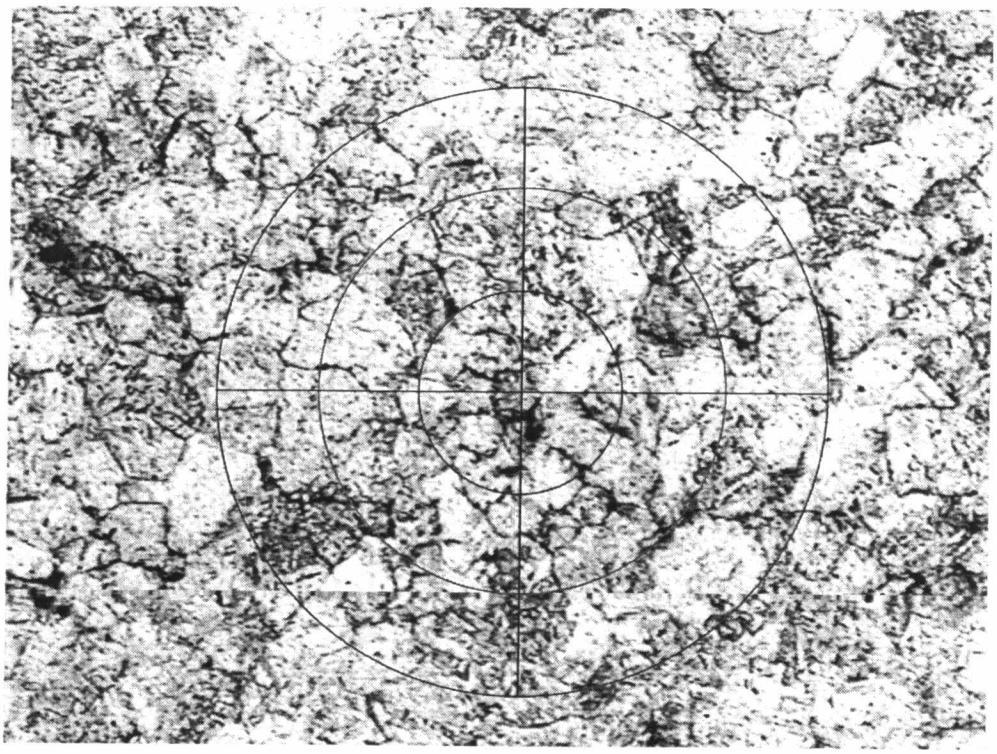
ขนาดเกรนออสเทนไนท์

$$= \frac{\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\gamma}$$

$$= \frac{\left(\frac{500 \times 10^3 \ \mu m}{140}\right)}{65}$$

$$= 55 \ \mu m$$

รูปที่ ก.8 วิธีการหาขนาดเกรนออสเทนไนท์ของชิ้นงานหลังรีดหยาบที่อุณหภูมิ 1,150 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 140 เท่า

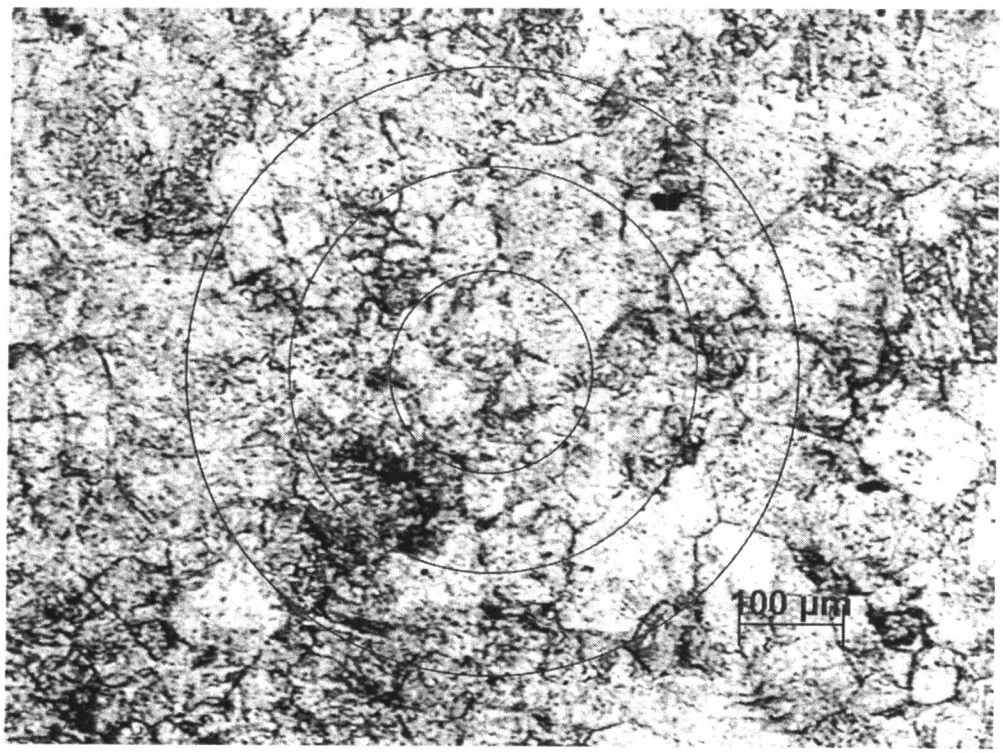
จำนวนเกรนออสเทนไนท์ที่ตัดเส้น (N_γ) = 67.5

ขนาดเกรนออสเทนไนท์ $= \dfrac{\left(\dfrac{L}{M}\right)}{N_\gamma}$

$= \dfrac{\left(\dfrac{500 \times 10^3 \ \mu m}{140}\right)}{67.5}$

$= 53 \ \mu m$

รูปที่ ก.8 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนออสเทนไนท์ของชิ้นงานหลังรีดหยาบที่อุณหภูมิ 1,150 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 140 เท่า

จำนวนเกรนออสเทนไนท์ที่ตัดเส้น (N_γ) = 63

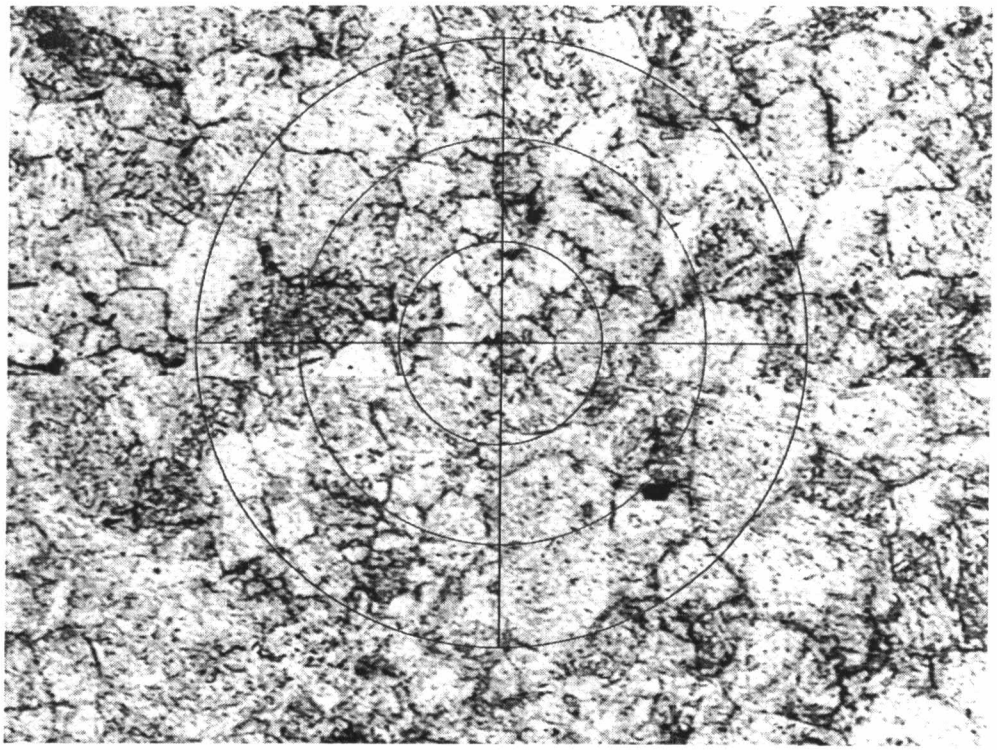
ขนาดเกรนออสเทนไนท์

$$= \frac{\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\gamma}$$

$$= \frac{\left(\frac{500 \times 10^3 \ \mu m}{140}\right)}{63}$$

$$= 63 \ \mu m$$

รูปที่ ก.9 วิธีการหาขนาดเกรนออสเทนไนท์ของชิ้นงานก่อนรีดละเอียดที่อุณหภูมิ 860 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 140 เท่า

จำนวนเกรนออสเทนไนท์ที่ตัดเส้น (N_γ) = 60.5

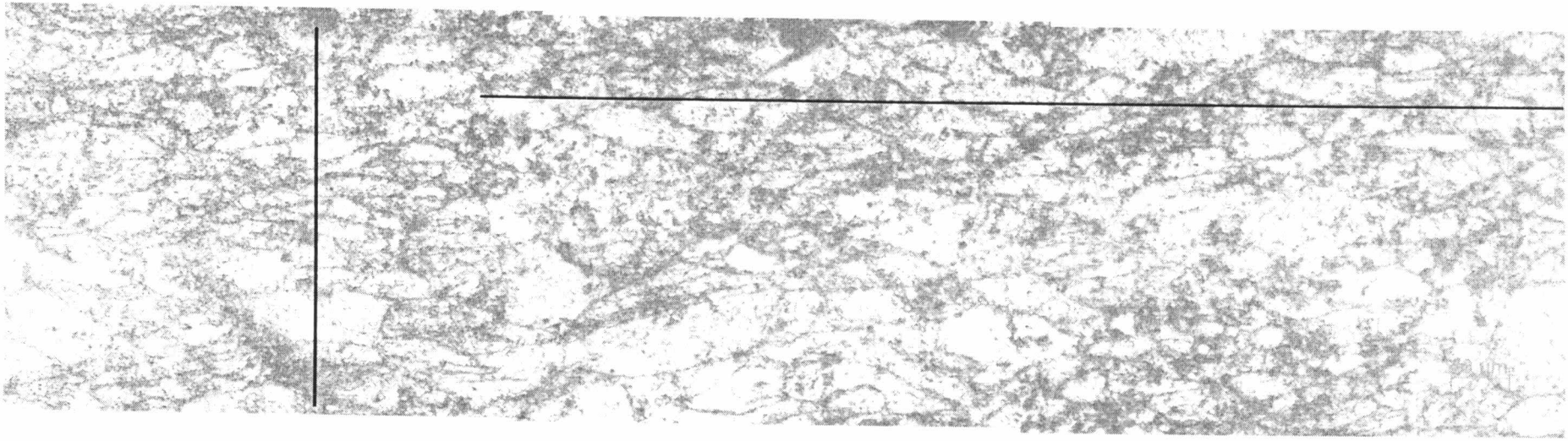
ขนาดเกรนออสเทนไนท์

$$= \frac{\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\gamma}$$

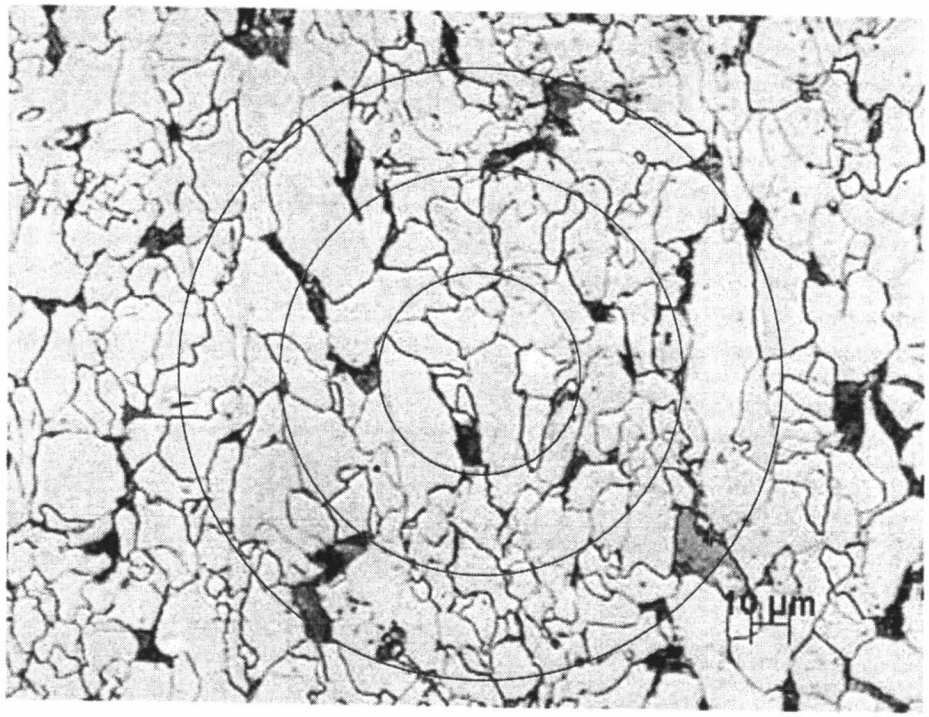
$$= \frac{\left(\frac{500 \times 10^3 \ \mu m}{140}\right)}{60.5}$$

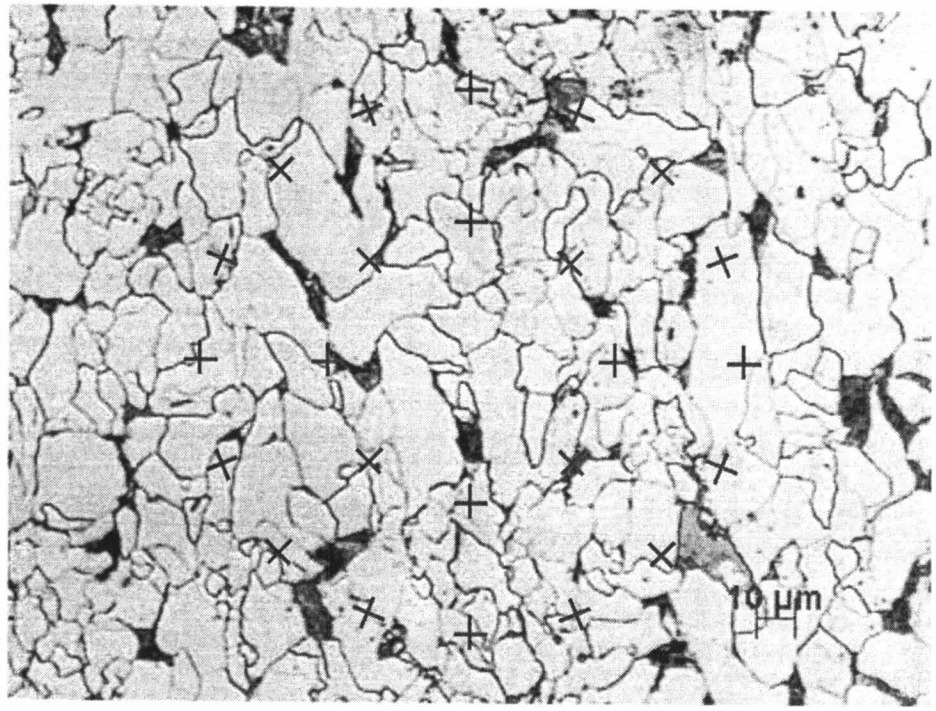
$$= 59 \ \mu m$$

รูปที่ ก.9 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนออสเทนไนท์ของชิ้นงานก่อนรีดละเอียดที่อุณหภูมิ 860 °C



รูปที่ ก.10 ภาพตัวอย่างการหาขนาดเกรนออสเทนไนท์หลังการม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 860 °C (เส้นนอนเป็นเส้นที่ลากตามแนวการรีด เส้นตั้งเป็นเส้นที่ลากตั้งฉากแนวการรีด ทั้งสองเส้นต้องลากผ่านเกรนอย่างน้อย 50 เกรน)





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

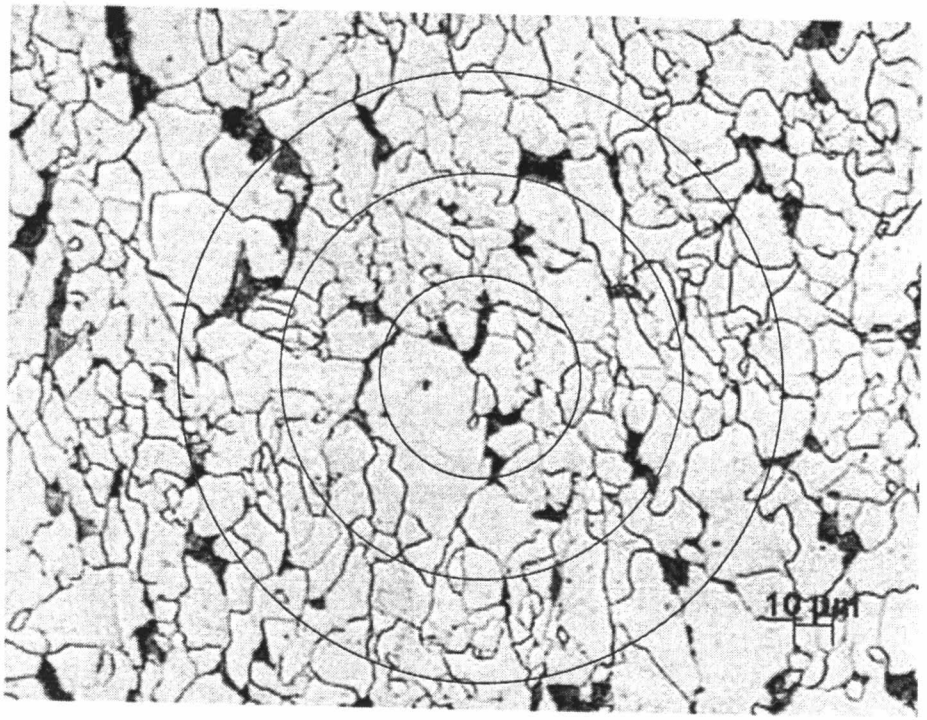
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 81

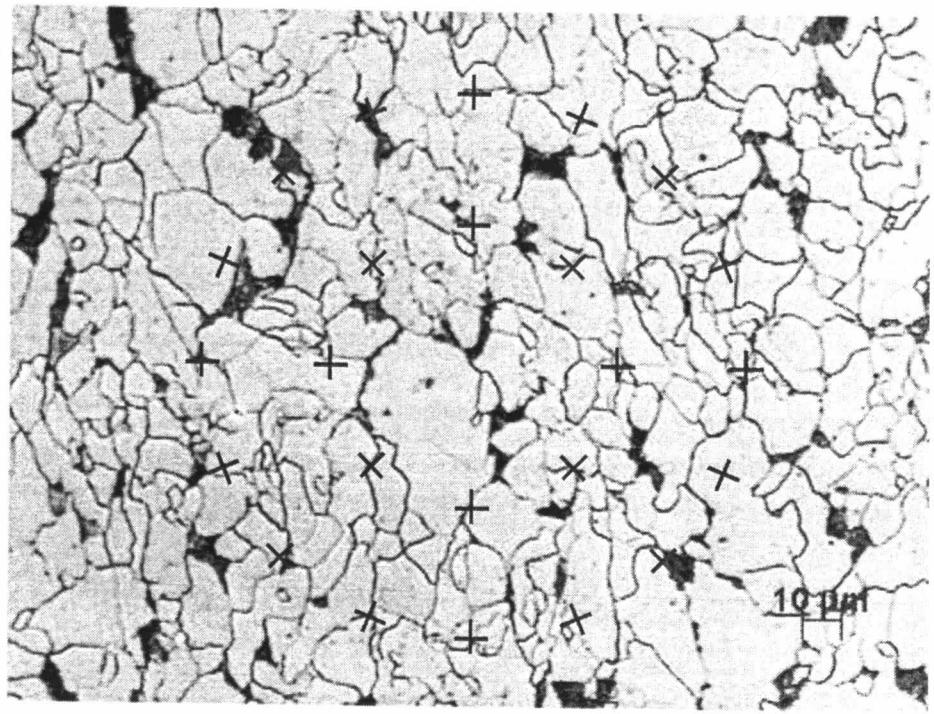
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22.5

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22.5 / 24 = 0.94

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.94 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{81} = 11.6\ \mu m$$

รูปที่ ก.11 วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 510 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

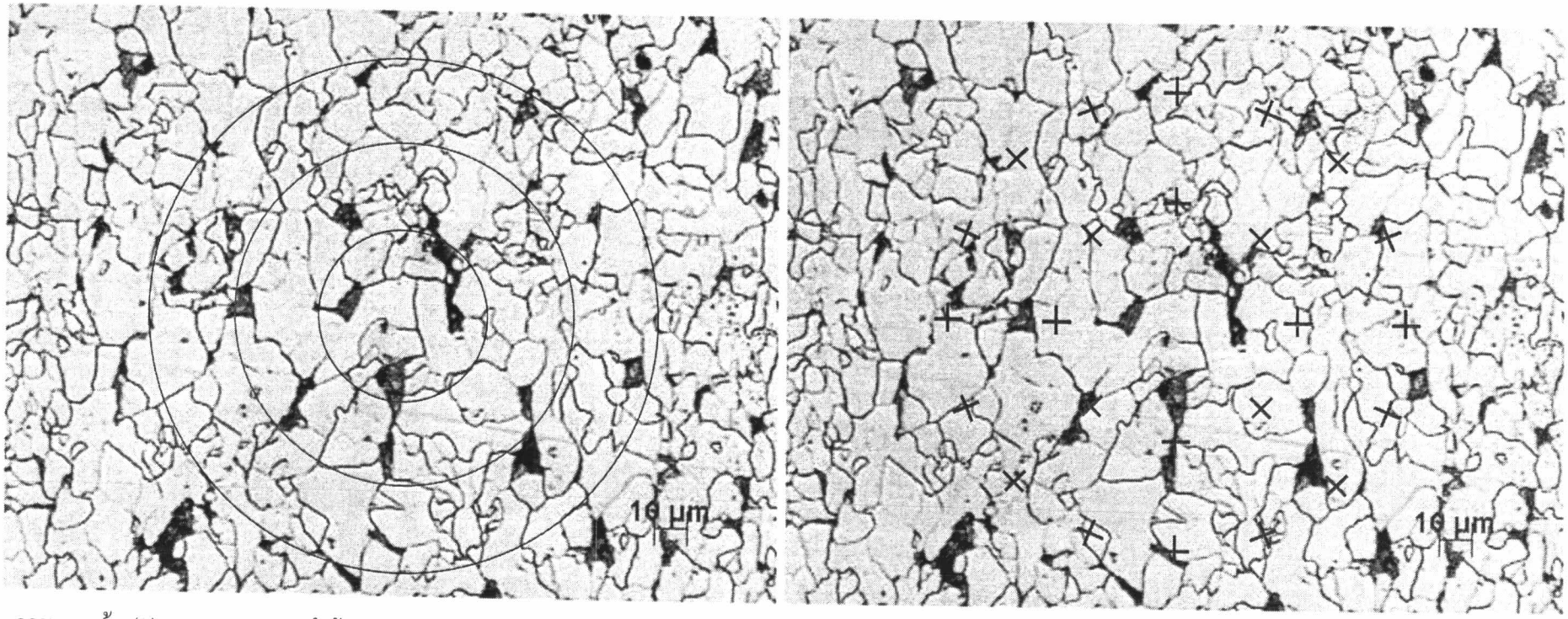
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 88

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 20

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 20 / 24 = 0.83

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.83 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{88} = 9.4\ \mu m$$

รูปที่ ก.11 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 510 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

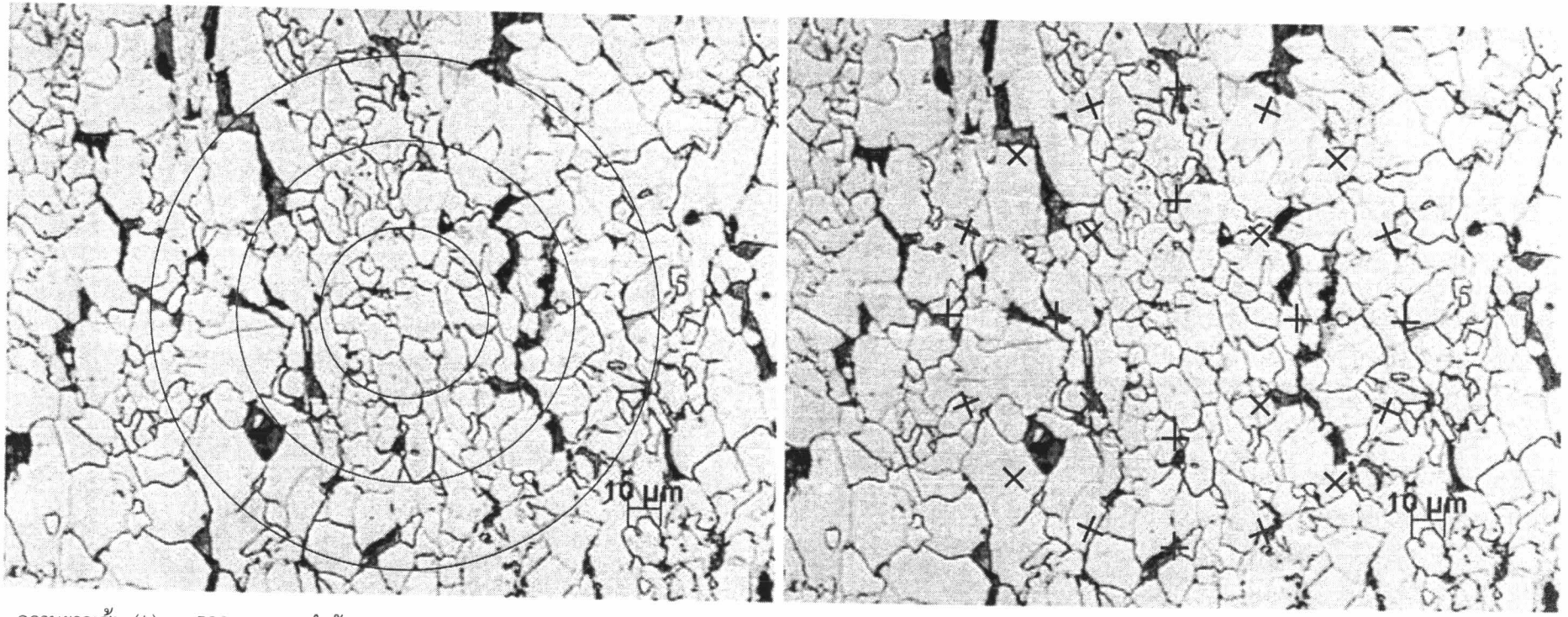
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 89

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{89} = 10.3\ \mu m$$

รูปที่ ก.11 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 510 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

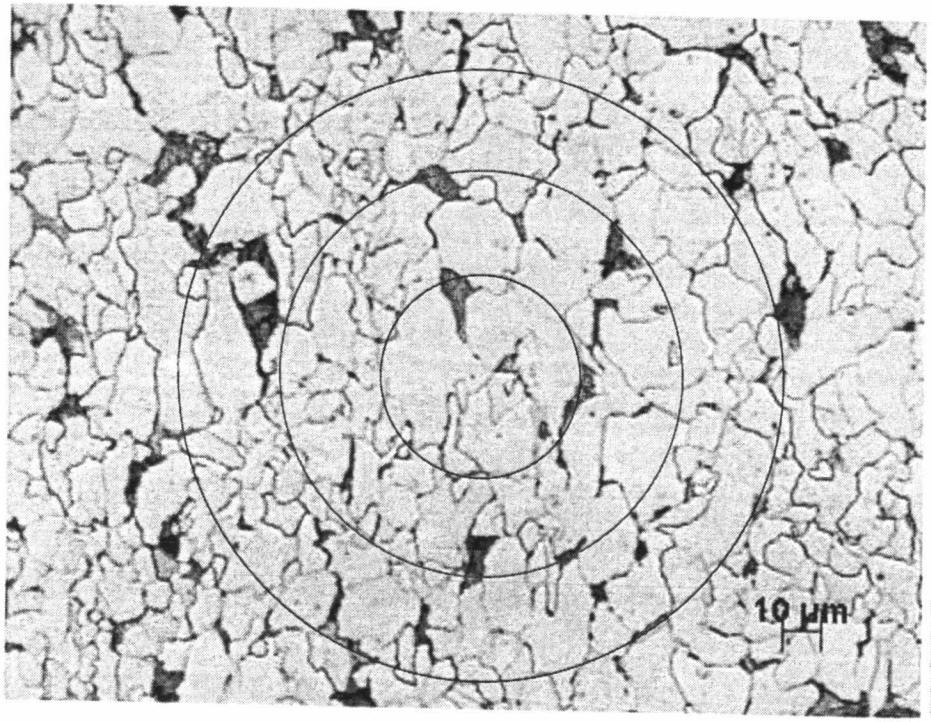
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 90

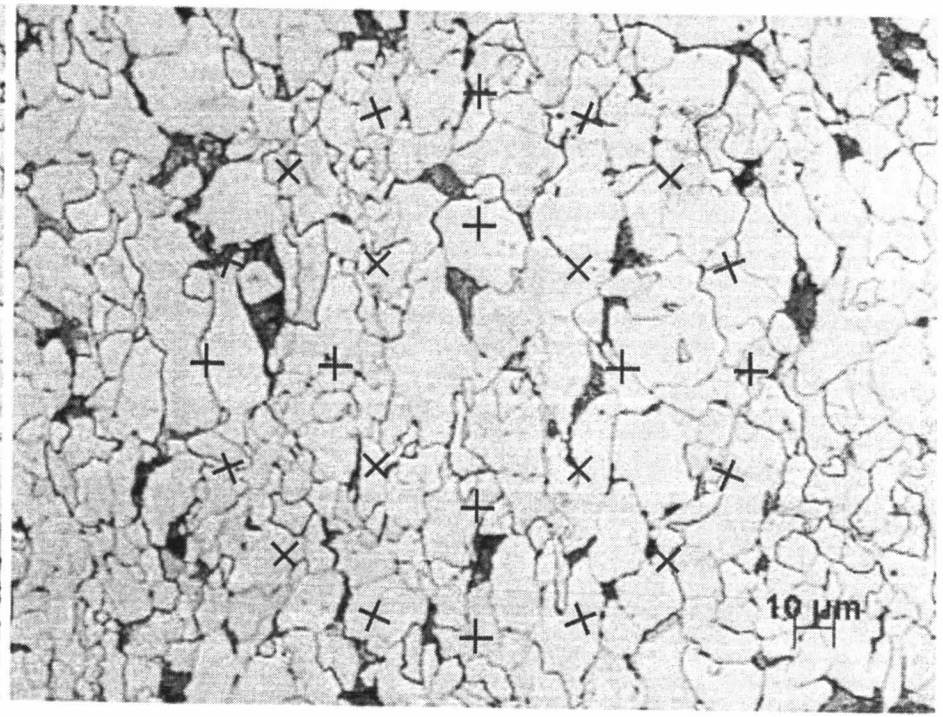
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 18

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 18 / 24 = 0.75

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.75 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{90} = 8.3\ \mu m$$

รูปที่ ก.11 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 510 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

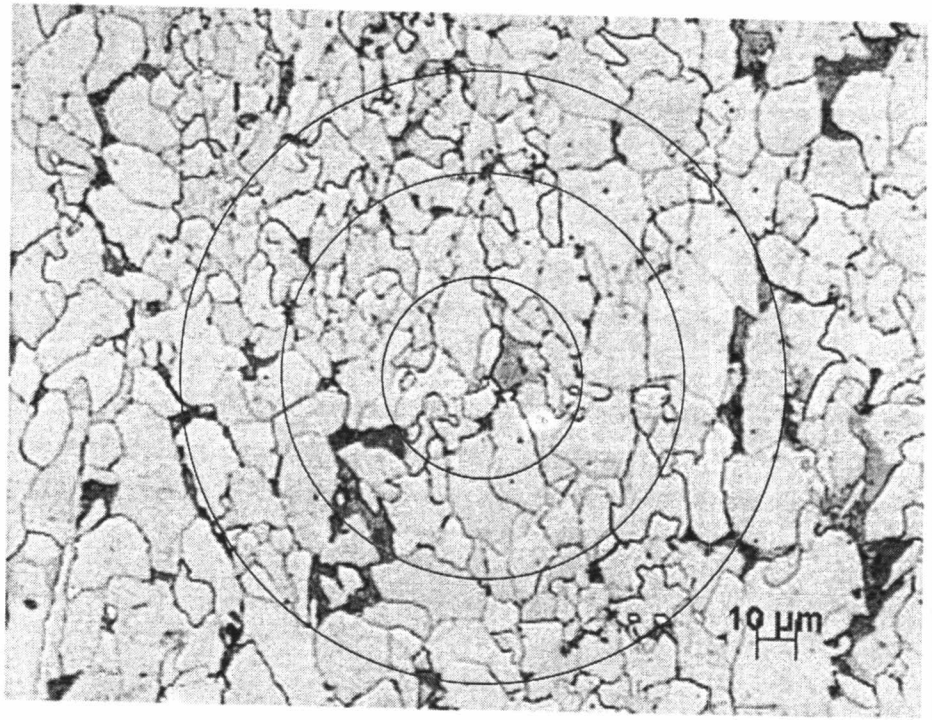
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 84

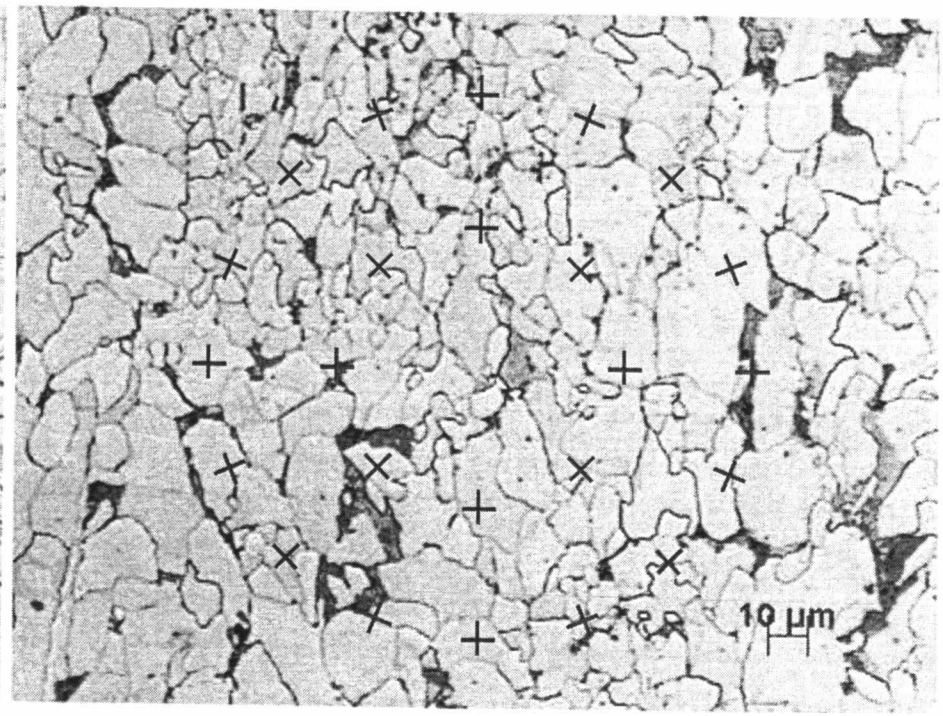
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 20.5

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 20.5 / 24 = 0.85

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.85 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{84} = 10.1\ \mu m$$

รูปที่ ก.12 วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 550 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

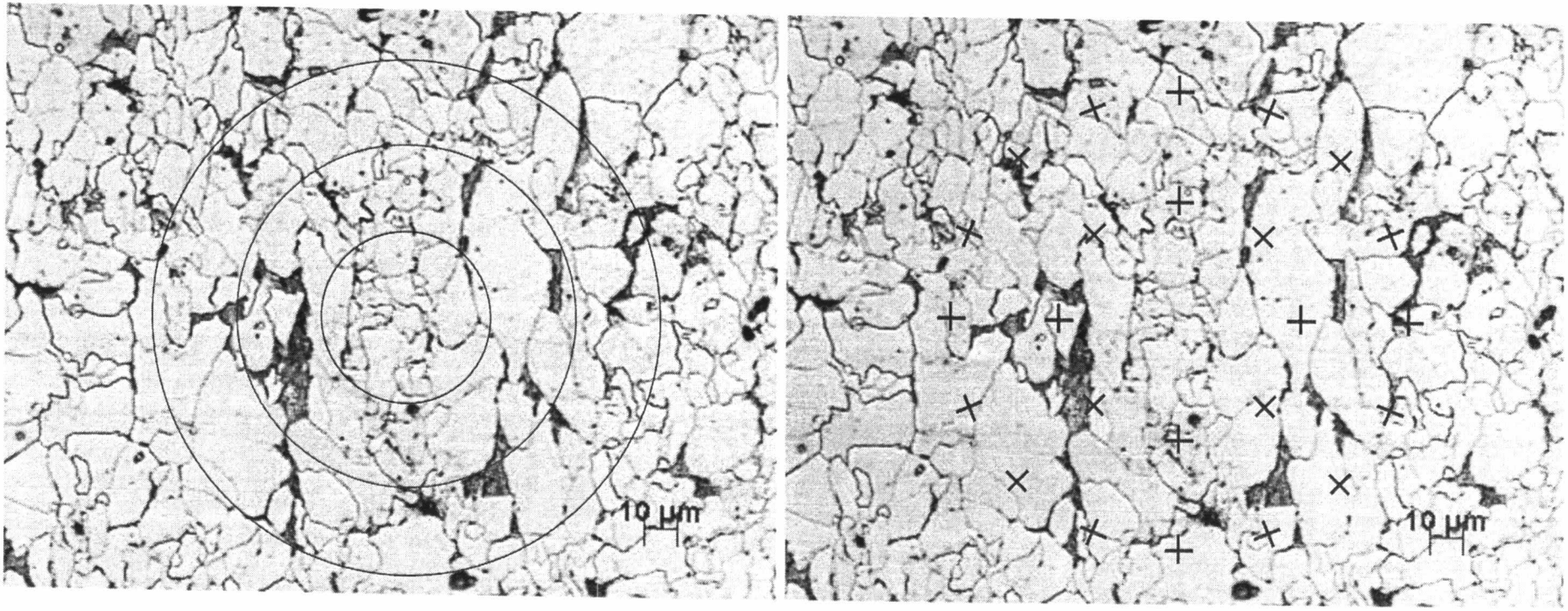
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 81.5

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{81.5} = 11.3\ \mu m$$

รูปที่ ก.12 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 550 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

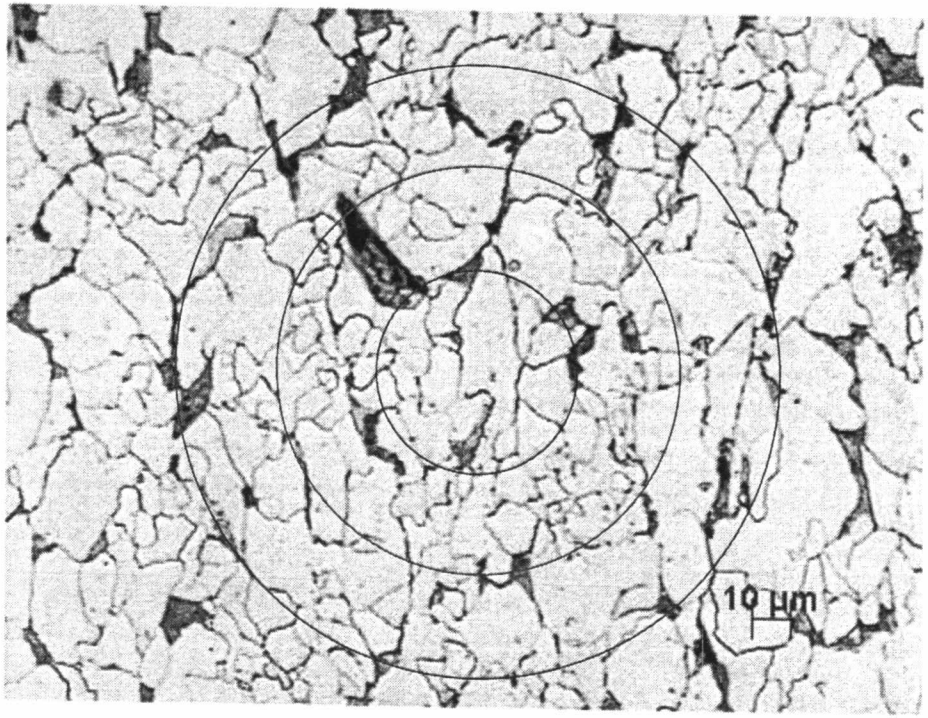
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 74.5

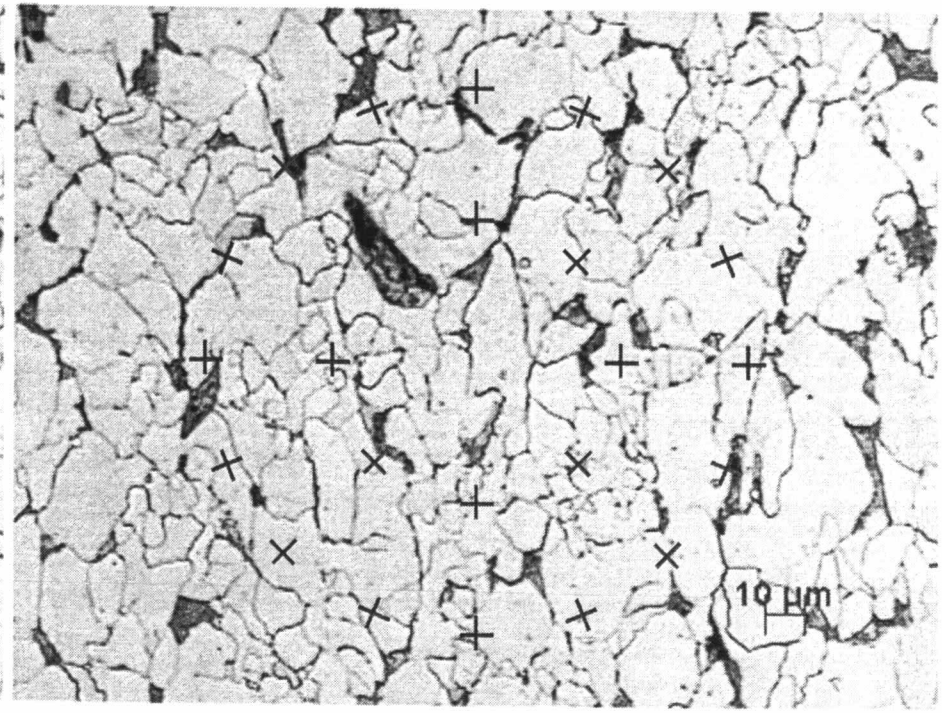
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{74.5} = 12.3\ \mu m$$

รูปที่ ก.12 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 550 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

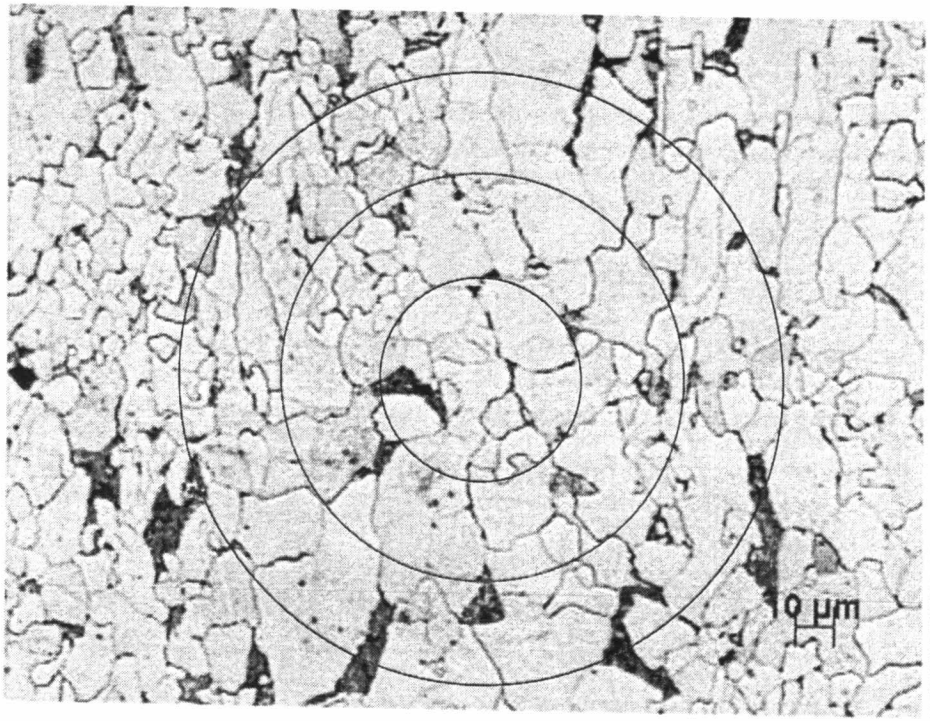
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 80

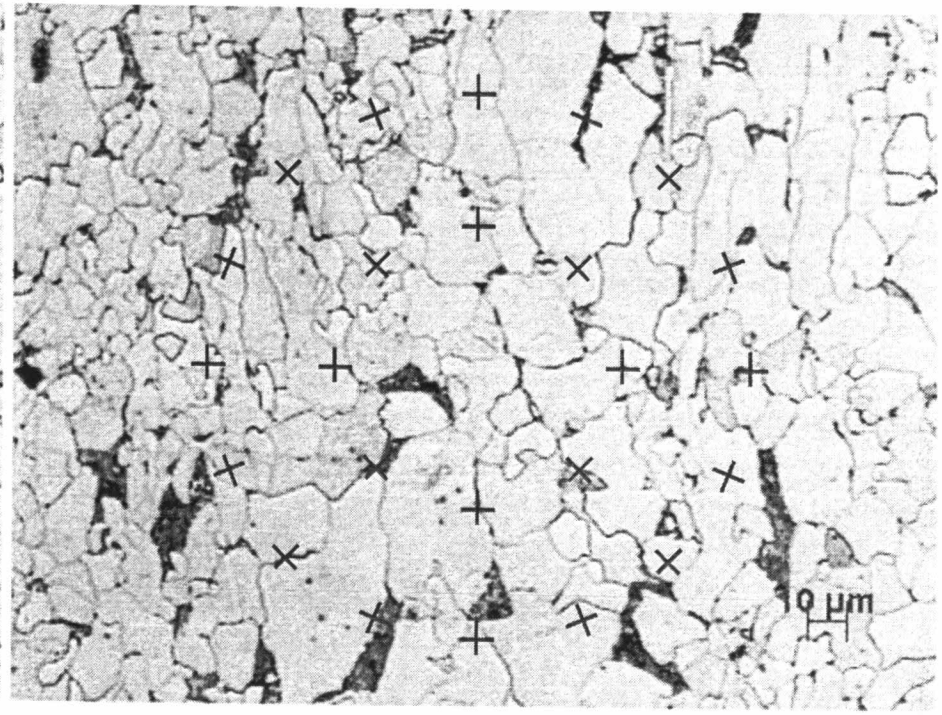
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{80} = 11.5\ \mu m$$

รูปที่ ก.12 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 550 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

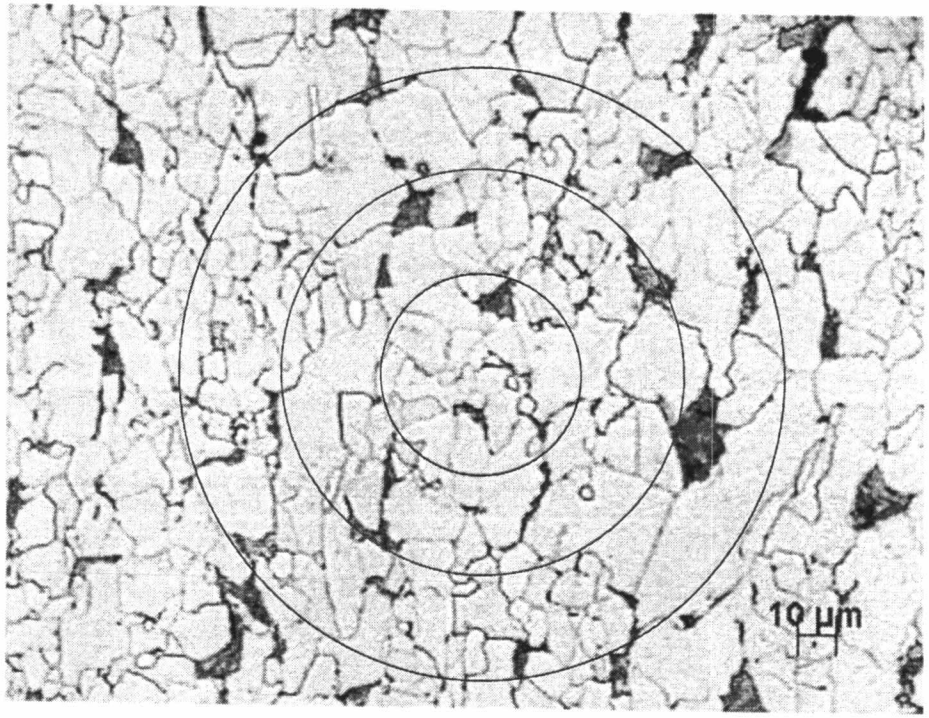
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 72

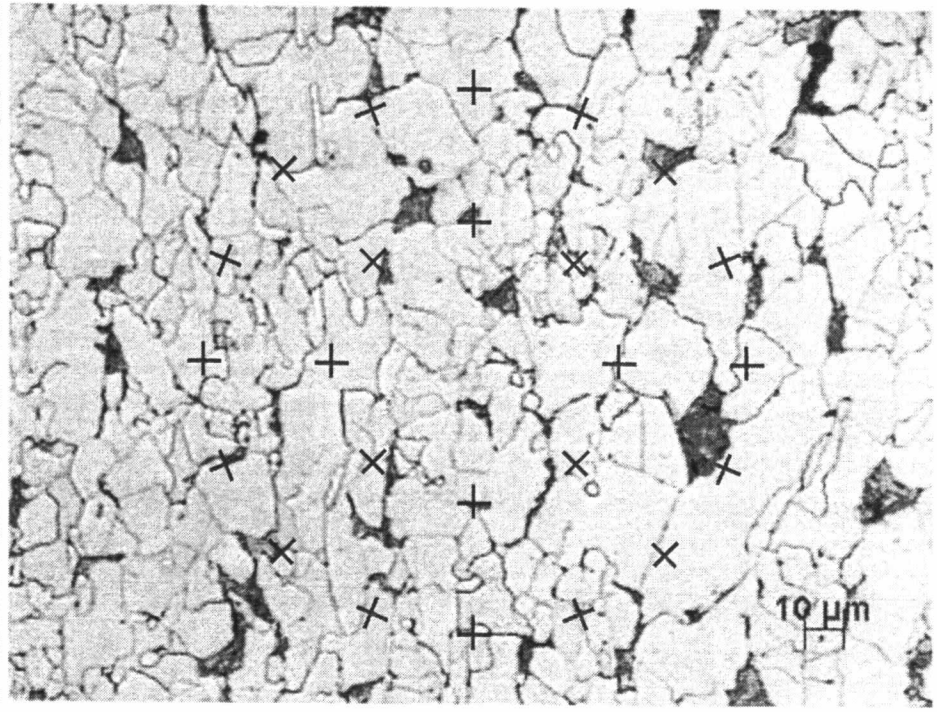
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 20

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 20 / 24 = 0.83

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.83 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{72} = 11.5\ \mu m$$

รูปที่ ก.13 วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 580 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

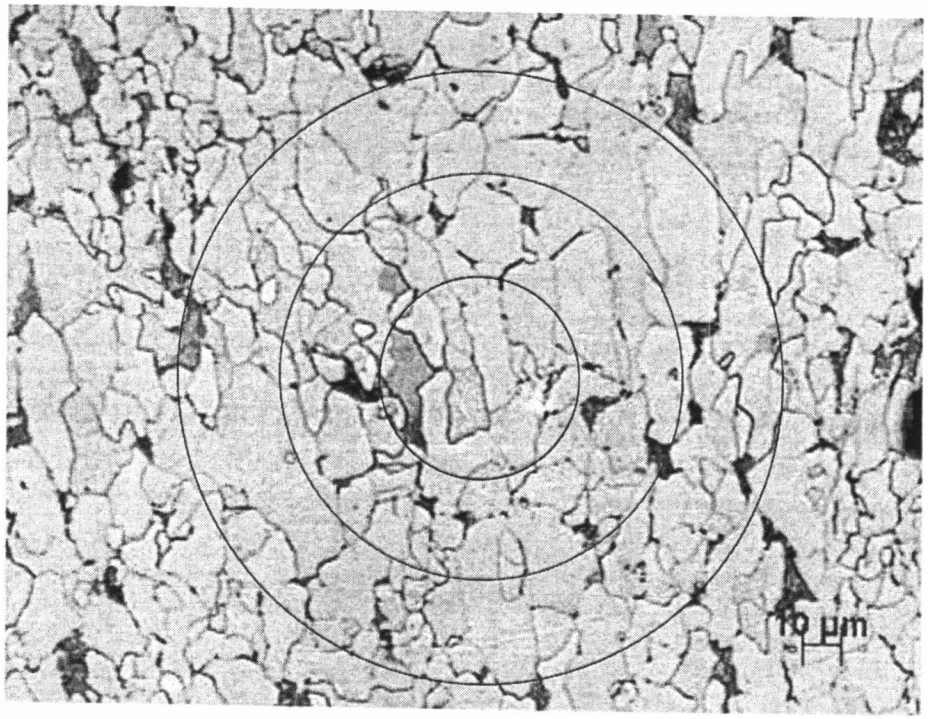
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 79.5

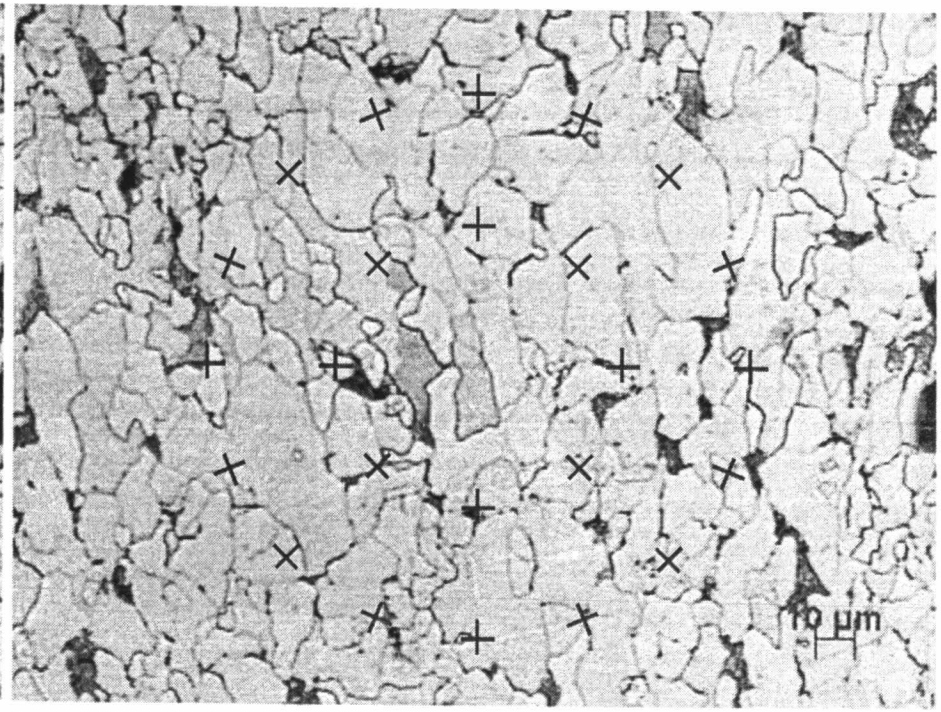
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 20

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 20 / 24 = 0.83

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.83 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{79.5} = 10.4\ \mu m$$

รูปที่ ก.13 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 580 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

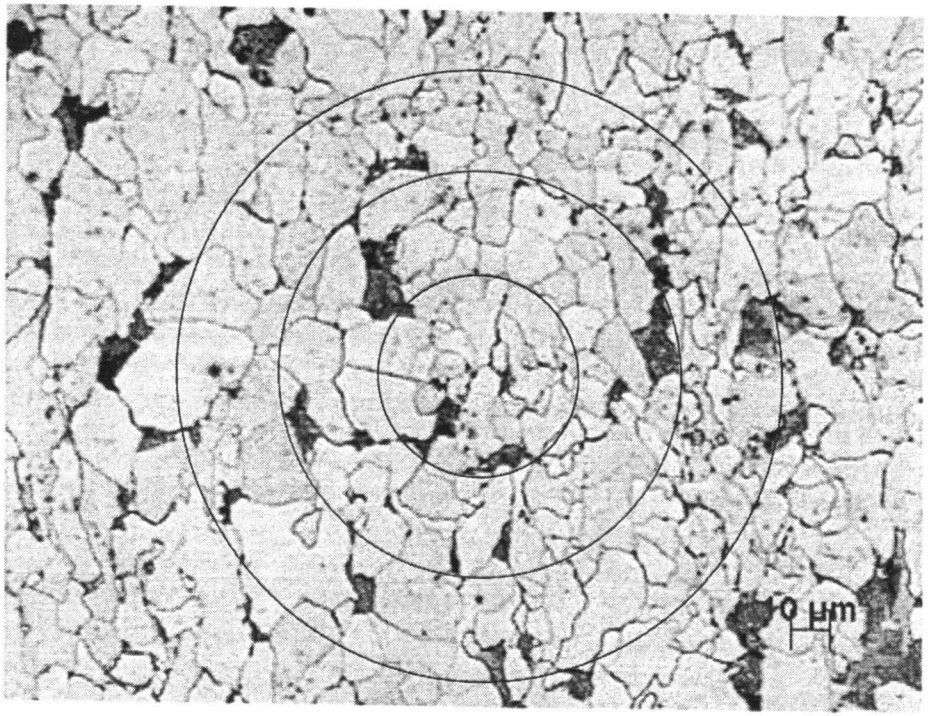
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 72

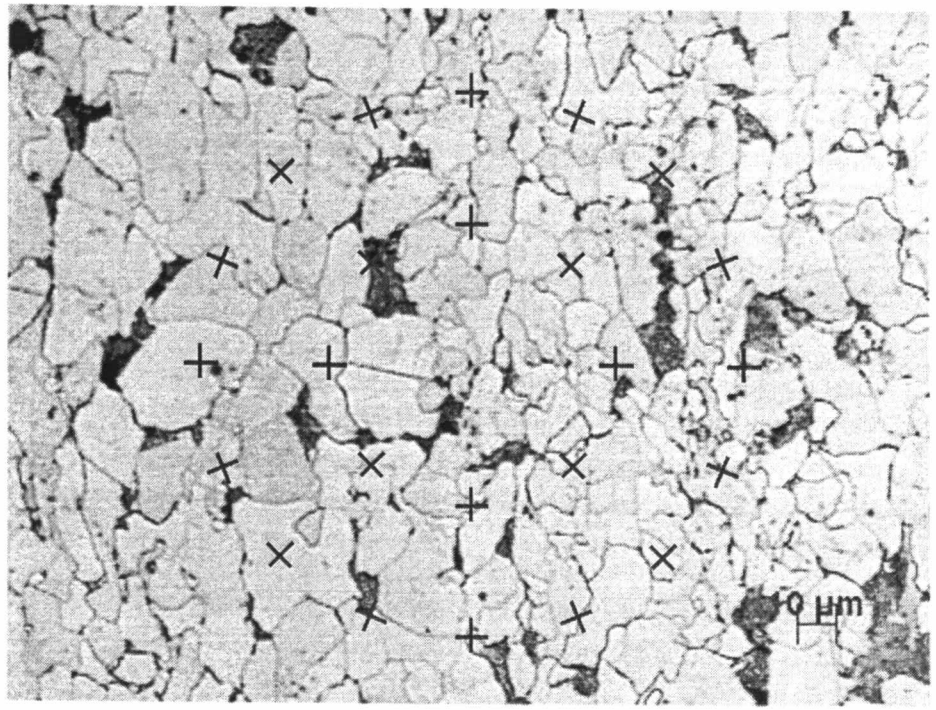
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 21

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 21 / 24 = 0.88

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.88 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{72} = 12.2\ \mu m$$

รูปที่ ก.13 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 580 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

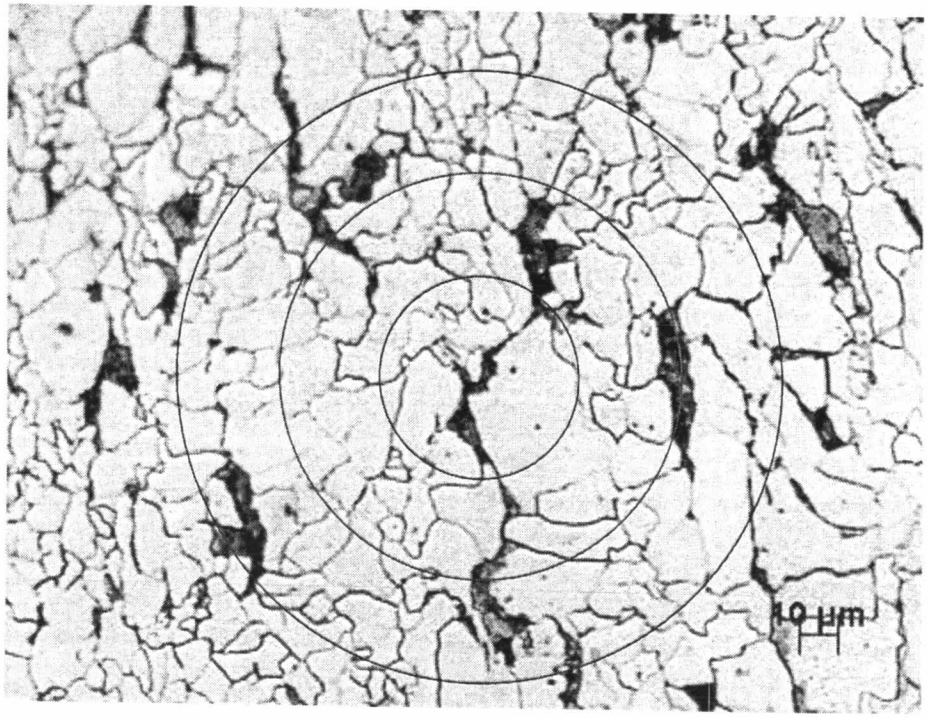
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 90

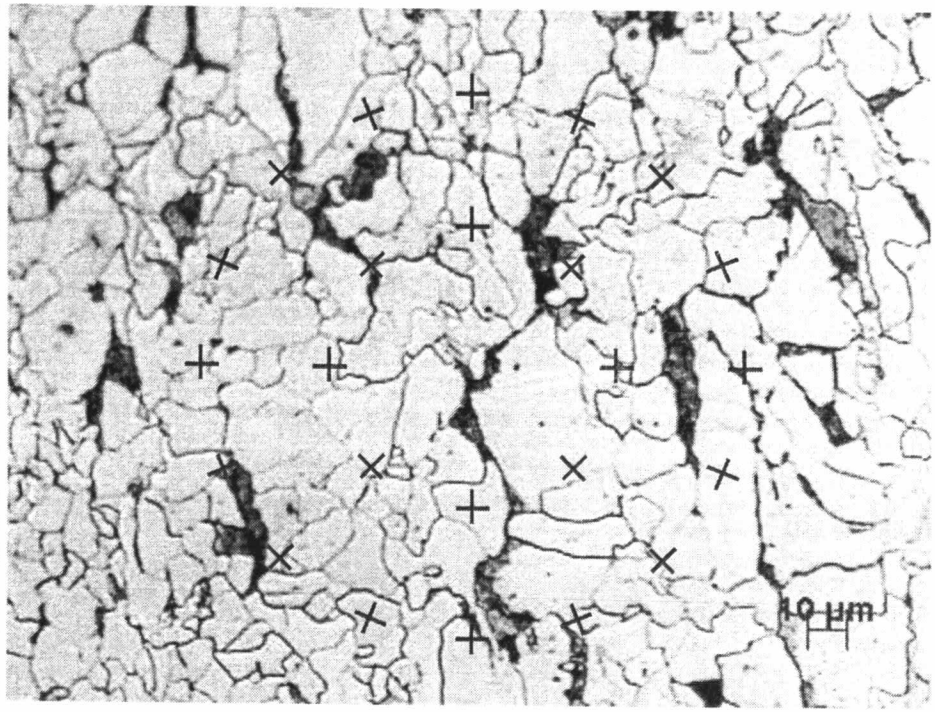
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 21.5

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 21.5 / 24 = 0.90

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.90 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{90} = 10.0\ \mu m$$

รูปที่ ก.13 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 580 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

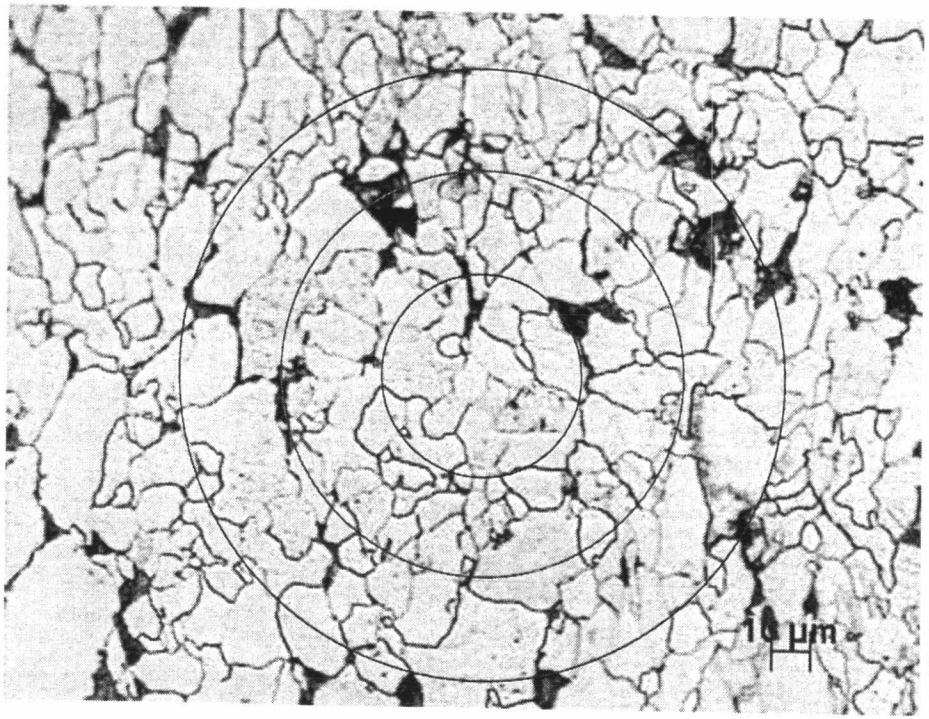
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 75.5

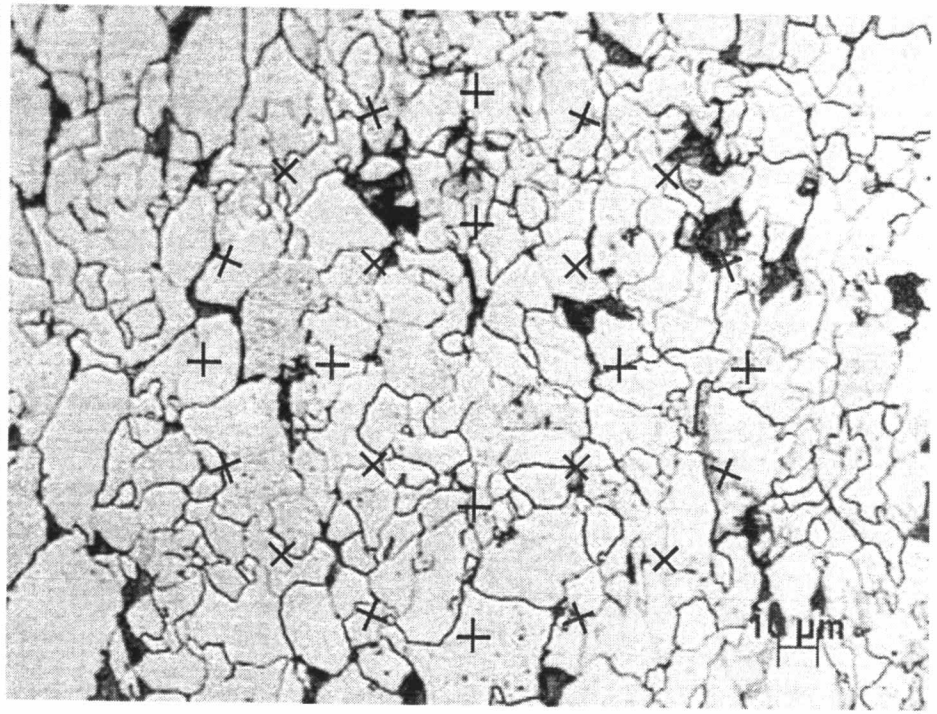
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{75.5} = 12.2\ \mu m$$

รูปที่ ก.14 วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 610 °C





ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

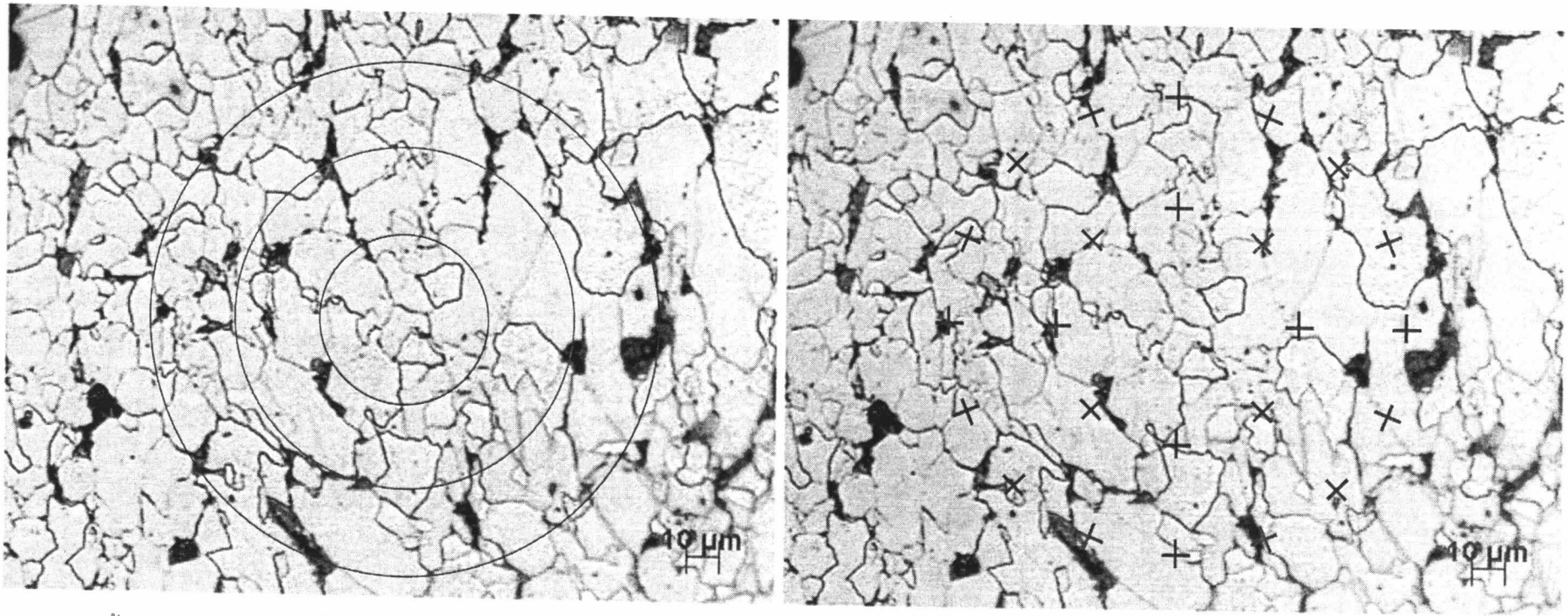
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 74

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{74} = 12.4\ \mu m$$

รูปที่ ก.14 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 610 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

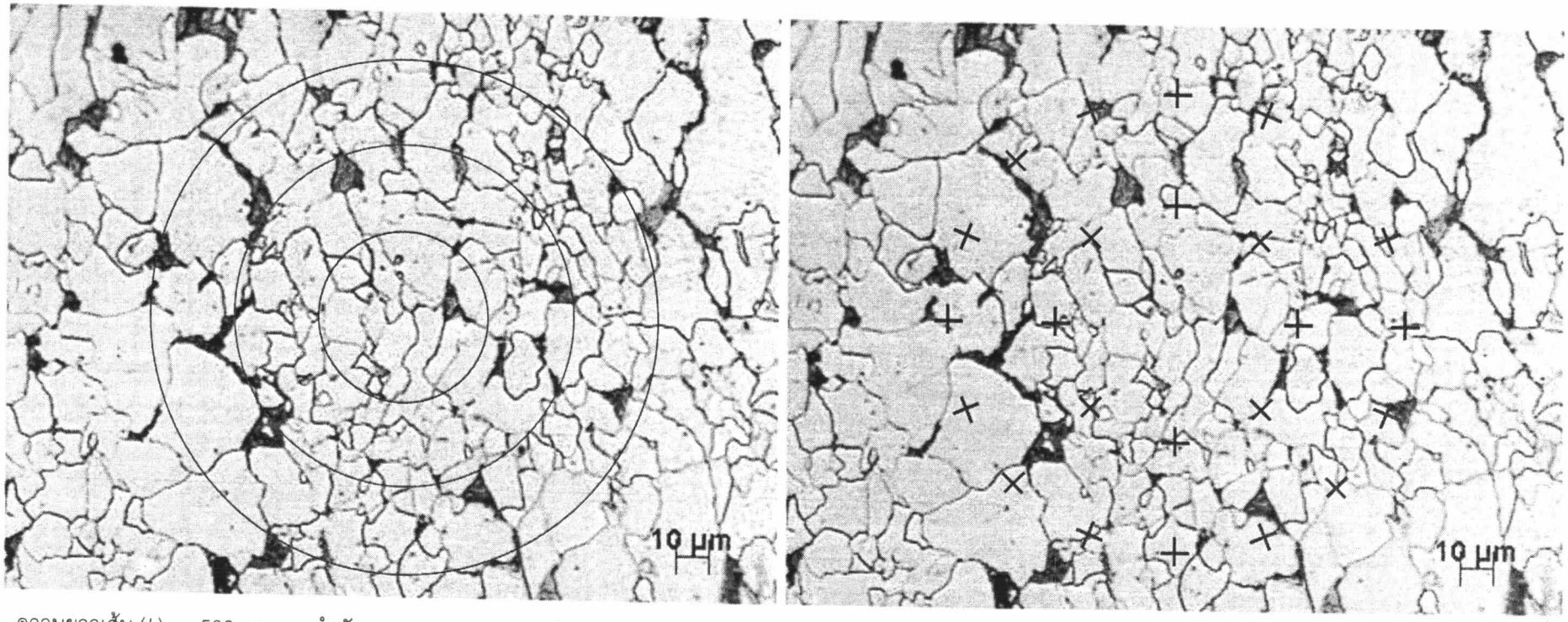
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 67.5

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 21

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 21 / 24 = 0.86

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.86 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{67.5} = 12.7\ \mu m$$

รูปที่ ก.14 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 610 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 76

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{76} = 12.1\ \mu m$$

รูปที่ ก.14 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 610 °C

ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

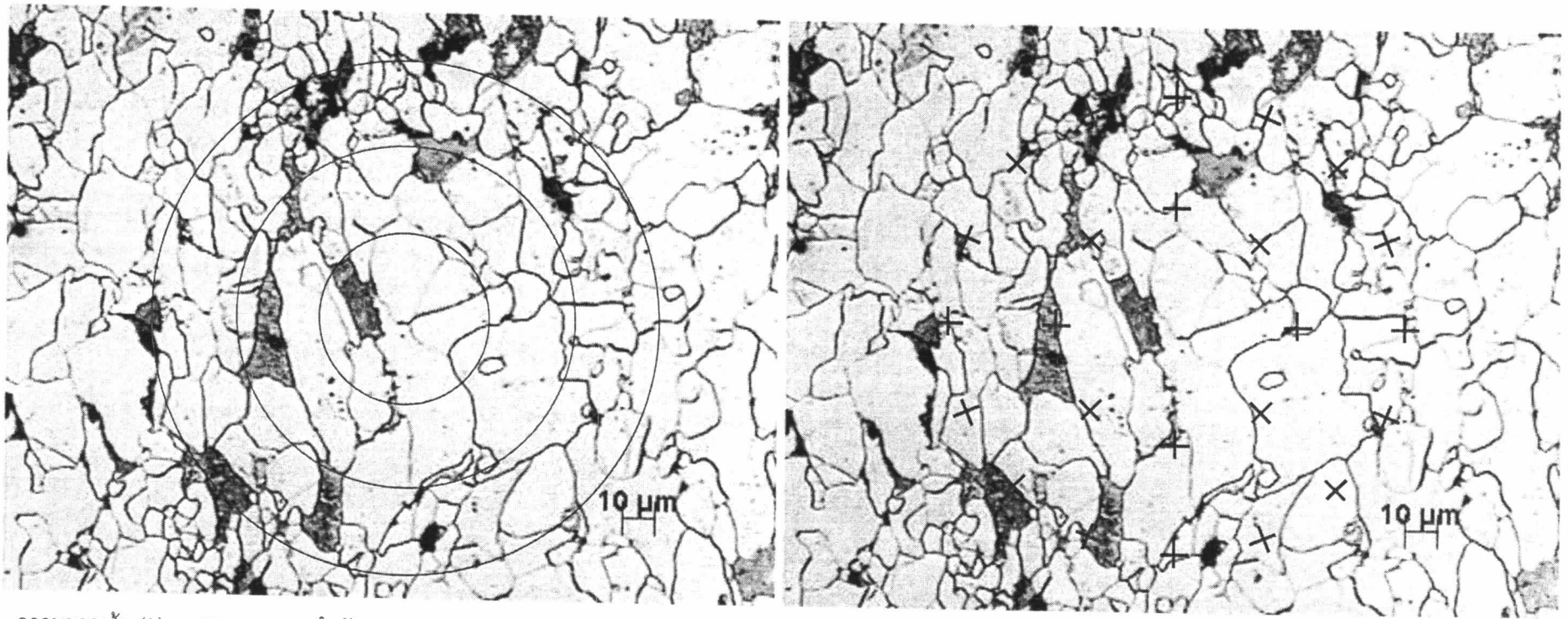
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 72

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 21

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 21 / 24 = 0.88

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.88 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{72} = 12.2\ \mu m$$

รูปที่ ก.15 วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 640 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

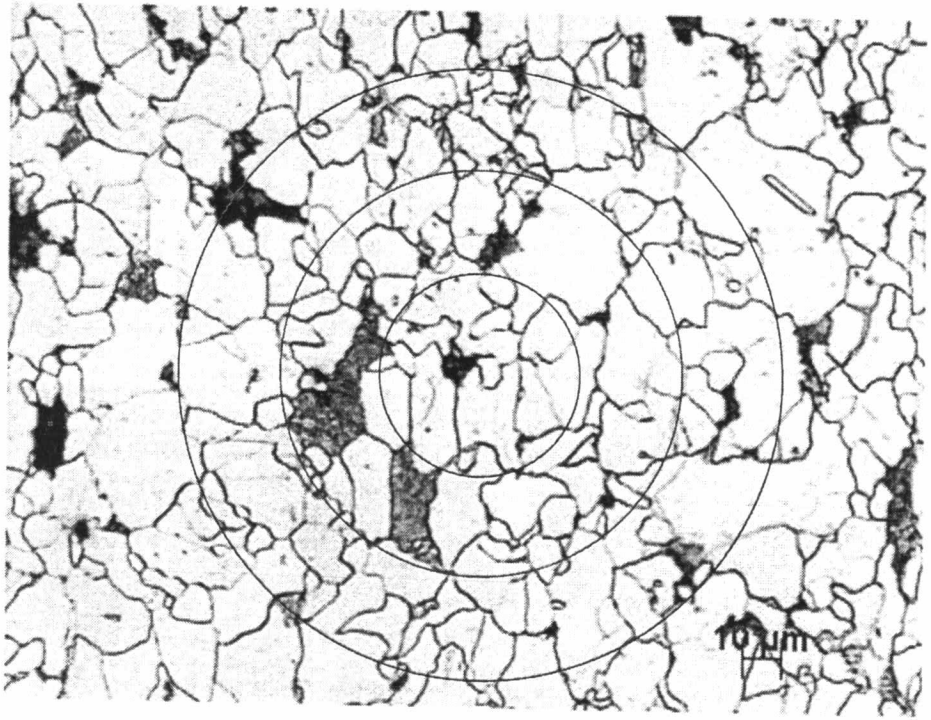
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 64.5

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 20.5

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 20.5 / 24 = 0.85

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.85 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{64.5} = 13.1\ \mu m$$

รูปที่ ก.15 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 640 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

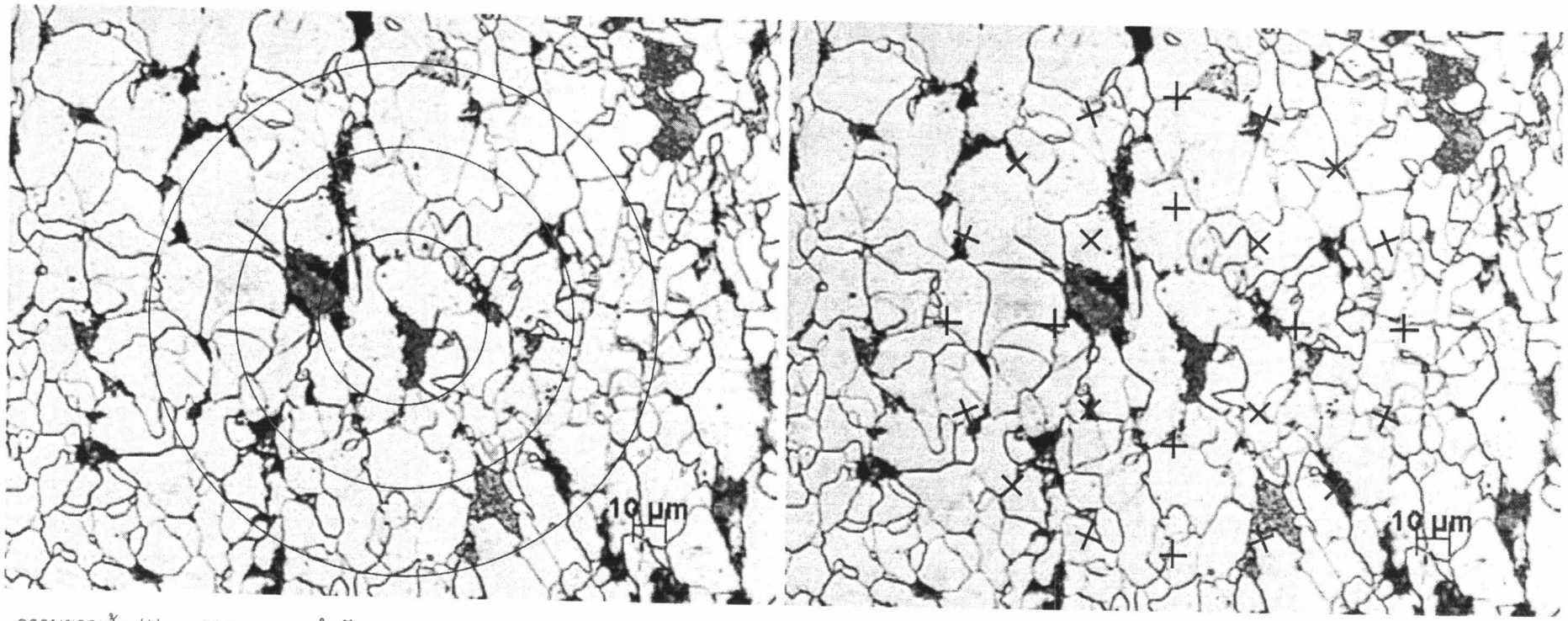
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 73

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 23

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 23 / 24 = 0.96

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.96 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{73} = 13.1\ \mu m$$

รูปที่ ก.15 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 640 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

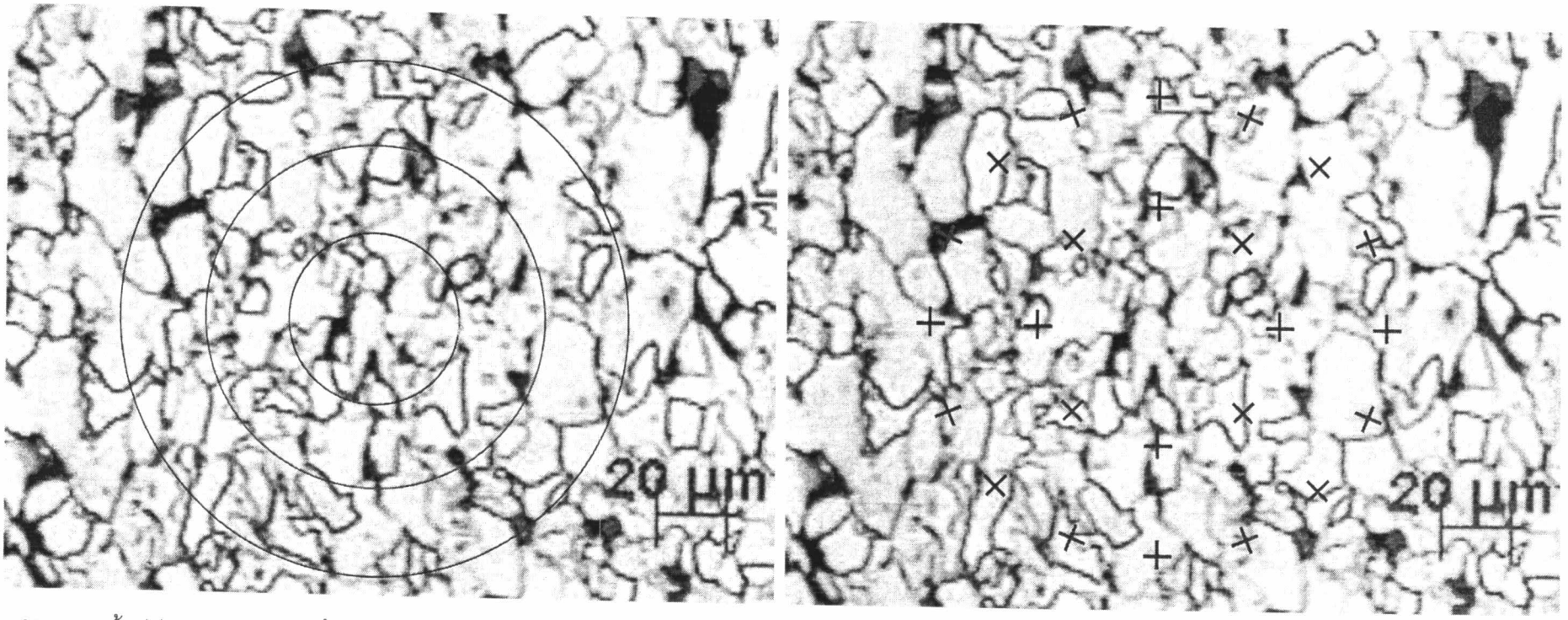
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 74.5

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 21

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 21 / 24 = 0.88

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.88 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{74.5} = 11.8\ \mu m$$

รูปที่ ก.15 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 640 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

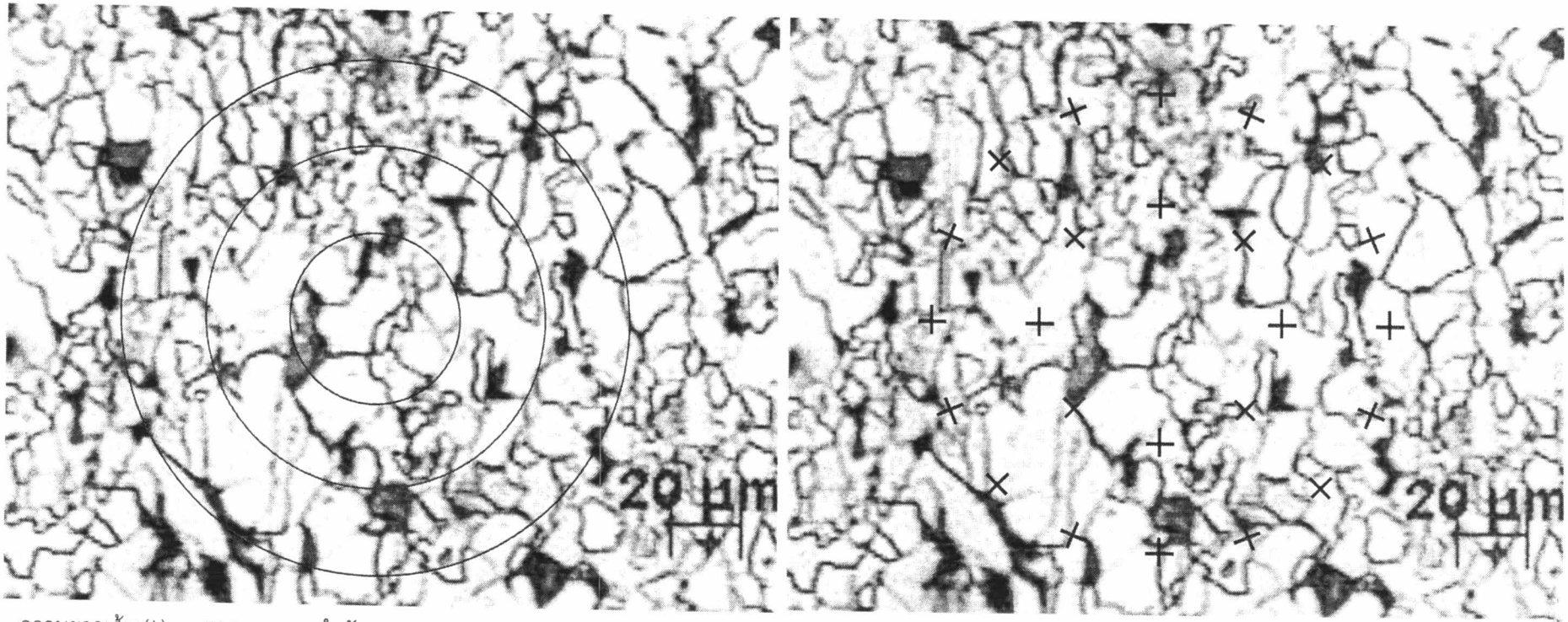
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 71

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 23

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 23 / 24 = 0.96

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.96 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{71} = 13.5\ \mu m$$

รูปที่ ก.16 วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 670 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

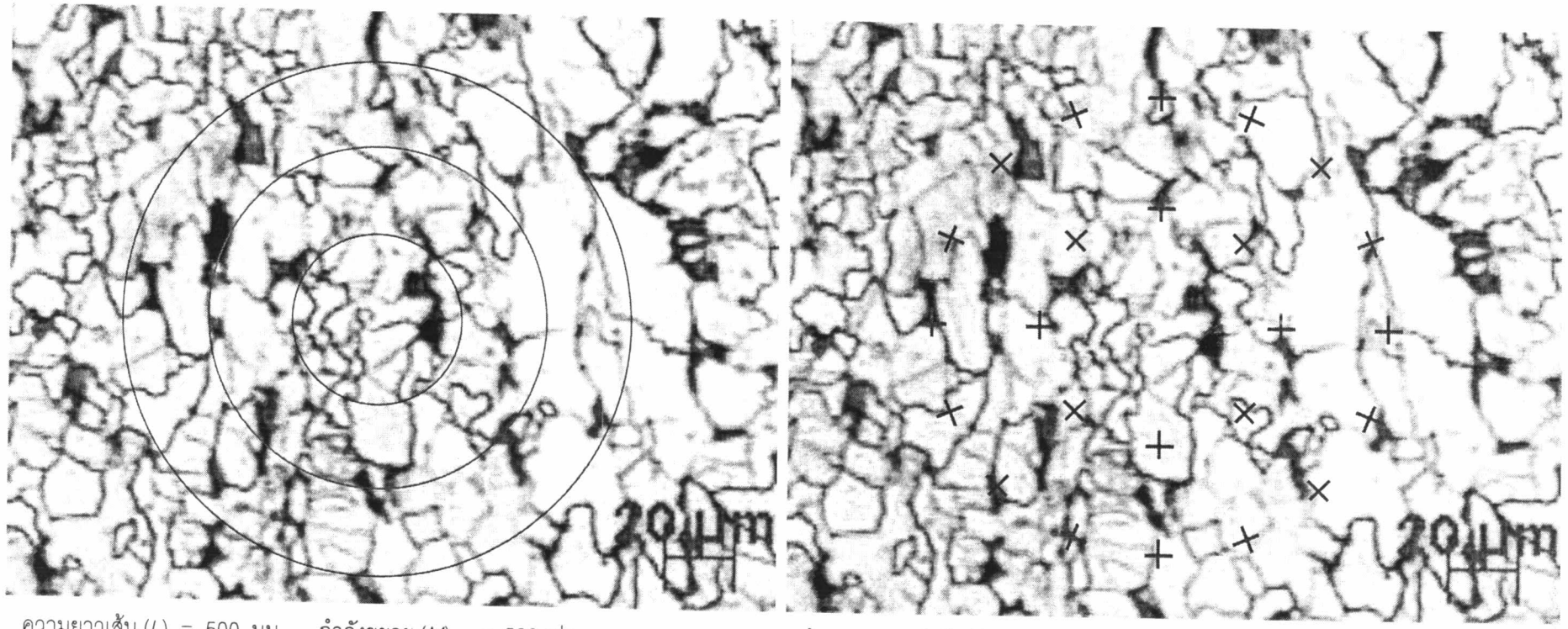
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 74

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 20

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 20 / 24 = 0.83

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.83 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{74} = 11.2\ \mu m$$

รูปที่ ก.16 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 670 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

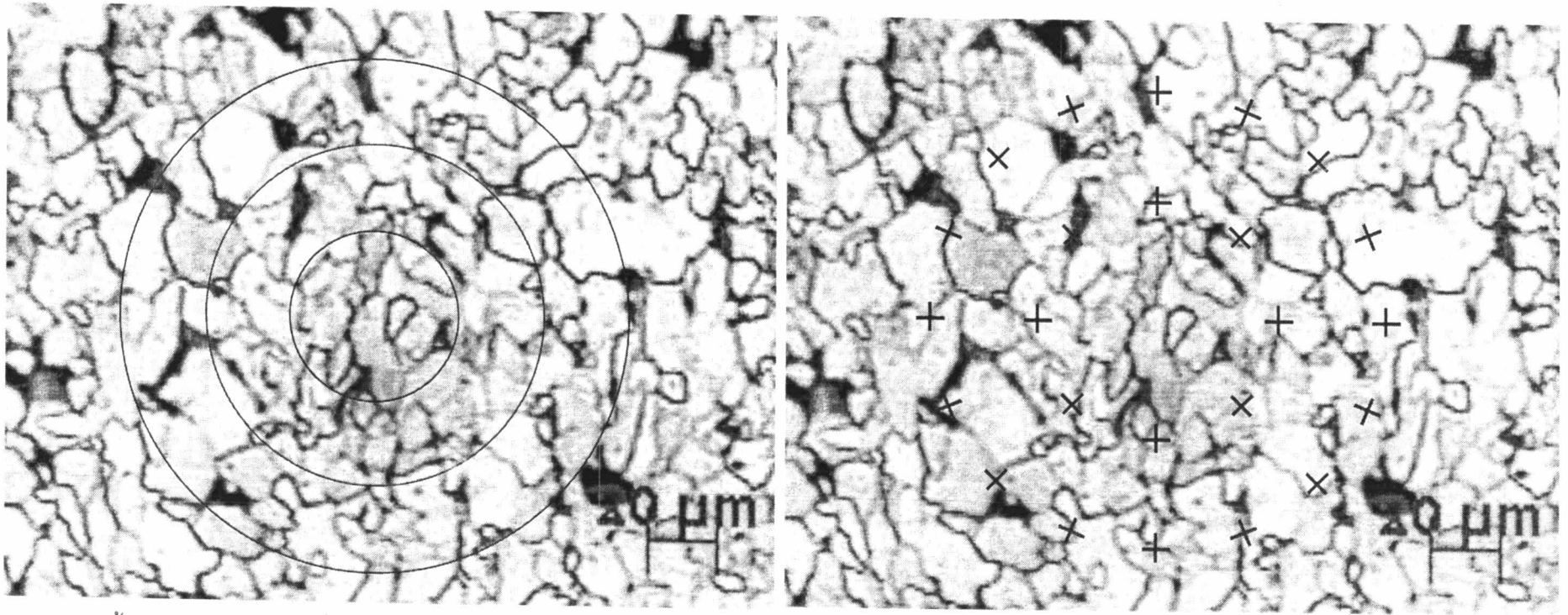
จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 63

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 19

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 19 / 24 = 0.79

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.79 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{63} = 12.5\ \mu m$$

รูปที่ ก.16 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 670 °C



ความยาวเส้น (L) = 500 มม. กำลังขยาย (M) = 500 เท่า

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์ที่ตัดเส้น (N_α) = 70.5

จำนวนเกรนเฟอร์ไรท์บนจุด = 22

สัดส่วนปริมาตรของเกรนเฟอร์ไรท์ (V_α) = 22 / 24 = 0.92

$$\text{ขนาดเกรนเฟอร์ไรท์} = \frac{(V_\alpha)\left(\frac{L}{M}\right)}{N_\alpha} = \frac{.92 \times \left(\frac{500 \times 10^3\ \mu m}{500}\right)}{70.5} = 13.1\ \mu m$$

รูปที่ ก.16 (ต่อ) วิธีการหาขนาดเกรนเฟอร์ไรท์ของชิ้นงานที่ม้วนเก็บที่อุณหภูมิ 670 °C

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ นฤดม ทาดี

ที่อยู่ 1167 ถ.เบญจรงค์ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
โทร (044)253425

การศึกษา ปีการศึกษา 2534 ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปัจจุบัน กำลังศึกษาในระดับปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานที่ทำงาน แผนกวิชาช่างโลหะ คณะเทคโนโลยีการผลิต
สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา
โทร (044)270913