

บทที่ 4

ผลการวิจัย



4.1 ผลการวิเคราะห์โดยวิธีนิวตรอนแอคทีเวชัน

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีนิวตรอนแอคทีเวชัน ตัวอย่างหมายเลข 1

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Mn	0.0188 \pm 0.00084 ⁺	4.4515	0.01424 \pm 0.00108 ⁺⁺
	0.0612 \pm 0.00068	4.1774	
	0.0077 \pm 0.00007	0.9387	
Al	0.0521 \pm 0.0023	4.4146	0.0557 \pm 0.00311
	0.0593 \pm 0.0021	3.5413	
	* 0.0103 \pm 0.0023	22.330	
V	* 0.00024 \pm 0.00004	16.6667	0.00023 \pm 0.00003
	* 0.00027 \pm 0.00004	14.8148	
	0.00023 \pm 0.000025	8.6956	
Cu	0.0346 \pm 0.0010	2.8902	0.0238 \pm 0.0009
	0.0244 \pm 0.0008	3.2787	
	0.0123 \pm 0.0005	4.0650	
As	0.0248 \pm 0.0007	2.8226	0.0332 \pm 0.0013
	0.0492 \pm 0.0009	1.8293	
	0.0257 \pm 0.0007	2.7237	
W	0.00677 \pm 0.00068	10.044	0.00796 \pm 0.00019
	0.0103 \pm 0.000148	4.6602	
	0.0068 \pm 0.0001	1.4705	

ตารางที่ 4.1 ต่อ

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Co	0.0221 ± 0.0024	10.8597	0.0221 ± 0.0024
	* 0.0003 ± 0.0006	200.0	
	* 0.00105 ± 0.0004	38.0952	

หมายเหตุ * เป็นค่าที่ไม่ได้นำมาคิดในการเฉลี่ยหาเปอร์เซ็นต์

+ เป็นค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดรังสี

++ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย คัดจาก

$$S = \sqrt{S_1^2 + S_2^2 + \dots}$$

เมื่อ S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

$S_1 S_2$ = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัด

ครั้งที่ 1,2

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีนิวตรอนแอคทีเวชันของตัวอย่างหมายเลข 2

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Mn	0.0505 \pm 0.0016 ⁺	3.1683	0.0476 \pm 0.00206 ⁺⁺
	0.0521 \pm 0.0011	1.9194	
	0.0403 \pm 0.0007	1.7369	
Al	0.0734 \pm 0.0027	3.6785	0.0731 \pm 0.0032
	0.0727 \pm 0.0017	2.3384	
	* 0.0276 \pm 0.0008	2.8986	
V	0.0032 \pm 0.00015	4.6875	0.0027 \pm 0.00018
	0.0024 \pm 0.00008	3.3333	
	0.0024 \pm 0.00006	2.50	
Cu	0.0354 \pm 0.0012	3.3898	0.0301 \pm 0.0022
	0.0261 \pm 0.0017	6.5134	
	0.0287 \pm 0.0006	2.0906	
As	0.0405 \pm 0.0001	0.2469	0.0416 \pm 0.0009
	* 0.0266 \pm 0.0005	1.8797	
	0.0426 \pm 0.0009	2.1127	
Co	* 0.02439 \pm 0.0028	11.4801	0.0204 \pm 0.0002
	* 0.01089 \pm 0.0012	11.0193	
	0.0204 \pm 0.00015	0.7353	

ตารางที่ 4.2 ต่อ

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Cr	* 0.0336 ± 0.0042 ⁺	12.5829	0.01805 ± 0.0027 ⁺⁺
	0.0188 ± 0.002	10.638	
	0.0173 ± 0.0018	10.4046	
W	0.0083 ± 0.00069	8.3133	0.0139 ± 0.0012
	0.0194 ± 0.00098	5.0515	
	* 0.0158 ± 0.0021	13.2911	
Sb	0.0173 ± 0.00167	9.6532	0.01587 ± 0.0017
	0.0186 ± 0.00028	1.5054	
	0.0117 ± 0.00048	4.1026	
Sm	* 0.00879 ± 0.0019	21.6155	0.00978 ± 0.00099
	* 0.0108 ± 0.001	12.9629	
	0.00978 ± 0.00099	10.1223	

หมายเหตุ * เป็นค่าที่ไม่ได้นำมาคิด

+ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดรังสี

++ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย คัดจาก

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots}$$

σ_s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย
 σ_1, σ_2 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดรังสี
ครั้งที่ 1, 2

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันของตัวอย่างหมายเลข 3

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Mn	0.0048 \pm 0.00026 ⁺	5.4167	0.0044 \pm 0.00046 ⁺⁺
	0.0042 \pm 0.00028	6.6667	
	0.0042 \pm 0.00026	6.1905	
Al	0.0006 \pm 0.00002	3.3333	0.0005 \pm 0.00003
	0.0004 \pm 0.00002	5.00	
	0.0005 \pm 0.00002	4.3088	
V	0.0002 \pm 0.00002	10.4641	0.00015 \pm 0.00002
	* 0.0001 \pm 0.00002	17.3214	
	0.0001 \pm 0.0000001	0.1947	
Cu	0.0885 \pm 0.0011	1.2429	0.0836 \pm 0.0021
	0.0910 \pm 0.0013	1.4286	
	0.0713 \pm 0.0012	1.6830	
As	0.0014 \pm 0.0001	7.1429	0.0014 \pm 0.0001
	* 0.0005 \pm 0.00008	14.74765	
	* 0.0001 \pm 0.00003	30.00	
Co	0.0459 \pm 0.0023	5.0109	0.0420 \pm 0.00399
	0.0343 \pm 0.0022	6.4140	
	0.0459 \pm 0.0024	5.2288	

หมายเหตุ * เป็นค่าที่ไม่ได้นับมาคิด

+ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดครั้งเดียว

++ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ยคิดจาก

$$\sigma_s = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots}$$

เมื่อ σ_s = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

σ_1, σ_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดครั้งที่ 1, 2

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีนิวตรอนแอคติเวชันของตัวอย่างหมายเลข 4

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Mn	0.0143 \pm 0.0007 ⁺	4.895	0.0164 \pm 0.0011 ⁺⁺
	0.0159 \pm 0.0005	3.1446	
	0.0189 \pm 0.0007	3.7037	
Al	0.0016 \pm 0.0001	6.25	0.0015 \pm 0.0001
	0.0014 \pm 0.00004	2.857	
	0.0015 \pm 0.00005	3.33	
V	0.0034 \pm 0.0001	2.941	0.0043 \pm 0.00017
	0.0047 \pm 0.0001	2.128	
	0.0049 \pm 0.0001	2.041	
W	0.00194 \pm 0.0019	9.7938	0.0194 \pm 0.0019
	* 0.0137 \pm 0.0017	12.4088	
	* 0.0068 \pm 0.0009	13.2353	
Cu	0.006 \pm 0.0005	8.3333	0.0067 \pm 0.0005
	0.006 \pm 0.0003	5.000	
	0.008 \pm 0.0004	5.000	
As	* 0.0426 \pm 0.0059	13.8498	0.0475 \pm 0.0007
	0.0458 \pm 0.0044	9.6069	
	0.0491 \pm 0.005	10.1633	

หมายเหตุ * เป็นค่าที่ไม่ได้นำมาคิด + เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดรังสี

++ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย คัดจาก $\sigma_S = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots}$

เมื่อ : σ_S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

σ_1, σ_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดรังสีครั้งที่ 1, 2

ตารางที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดยวิธีแอกติเวชันของตัวอย่างหมายเลข 5 (แร่เหล็ก)

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Mn	0.2264 \pm 0.003 ⁺	1.4505	0.2331 \pm 0.0032 ⁺⁺
	0.2502 \pm 0.0039	1.5483	
	0.2228 \pm 0.0032	1.4352	
Al	4.9367 \pm 0.0732	1.4833	5.3769 \pm 0.1389
	6.0154 \pm 0.0907	1.5074	
	5.1786 \pm 0.0757	1.4613	
V	0.0191 \pm 0.00058	3.0527	0.0216 \pm 0.0012
	0.0268 \pm 0.0008	2.9903	
	0.0189 \pm 0.0006	2.9958	
W	0.0019 \pm 0.00005	2.7282	0.002 \pm 0.00008
	0.002 \pm 0.00006	3.0285	
	* 0.00003 \pm 0.000006	21.1916	
Cr	0.0565 \pm 0.0039	6.9058	0.0477 \pm 0.0054
	0.0389 \pm 0.0037	9.5448	
	* 0.0202 \pm 0.0022	11.1251	
Co	0.0187 \pm 0.0016	8.2930	0.0193 \pm 0.0029
	0.0263 \pm 0.0021	8.1045	
	0.0129 \pm 0.0013	9.75097	
Sb	0.0114 \pm 0.0011	9.3405	0.0114 \pm 0.0011
	* 0.0014 \pm 0.0004	25.0035	
	* 0.0047 \pm 0.0005	11.5503	
Cu	0.0538 \pm 0.0045	8.3643	0.0513 \pm 0.0059
	* 0.0479 \pm 0.0067	13.9875	
	0.0488 \pm 0.0038	7.7869	
As	0.01886 \pm 0.0004	2.1212	0.02597 \pm 0.00029
	0.03787 \pm 0.00024	0.6337	
	0.02119 \pm 0.00037	1.7459	

ตารางที่ 4.5 ต่อ

ธาตุ	ปริมาณร้อยละ	% ค่าคลาดเคลื่อน	ปริมาณร้อยละโดยเฉลี่ย
Sm	0.0036 \pm 0.0004 ⁺	11.8856	0.0036 \pm 0.0004 ⁺⁺
	* 0.0028 \pm 0.0004	15.825	
	* 0.0014 \pm 0.0003	18.7434	

หมายเหตุ * เป็นค่าที่ไม่ได้นำมาคิด

+ เป็นค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดรังสี

++ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย คิดจาก

$$\sigma_S = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots}$$

เมื่อ σ_S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเฉลี่ย

σ_1, σ_2 = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานจากการวัดรังสี
ครั้งที่ 1, 2

4.2 ผลการวิเคราะห์หาปริมาณของคาร์บอน กำมะถัน ฟอสฟอรัส และซิลิกอน โดยวิธีทางเคมี

ตัวอย่าง	ปริมาณร้อยละ คาร์บอน	ปริมาณร้อยละ กำมะถัน	ปริมาณร้อยละ ฟอสฟอรัส		ปริมาณร้อยละ ซิลิกอน	
			ค่าที่หาได้	ค่าเฉลี่ย	ค่าที่หาได้	ค่าเฉลี่ย
1	0.18	0.0065	0.019	0.0195 +0.0002	0.01	0.01+0
			0.02		0.01	
2	0.21	0.019	0.235	0.235+0	0.08	0.07+0.014
			0.235		0.06	
3	0.27	0.008	0.008	0.009+	0.02	0.015+0.0071
			0.01	0.0014	0.01	
4	0.27	0.006	0.1	0.1+0	0.02	0.02+0
			0.1		0.02	
5	-	0.045	0.042	0.0435+0.002	6.1092	7.0063+1.2678
			0.045		7.9034	

ตารางที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ธาตุคาร์บอน กำมะถัน ฟอสฟอรัส และซิลิกอน

+ คิดจาก

$$s = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(x - \bar{x})^2}{n-1}}$$

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมี
(เป็นปริมาณร้อยละ)

ตัวอย่าง หมายเลข	C	S	P	Si	Cr	Mn	V	W	Al	As	Sb	Cu	Sm	Co
1	0.18	0.0065	0.0195	0.01	-	0.0142	0.0002	0.0079	0.0557	0.0332	-	0.0238	-	0.0221
2	0.21	0.019	0.235	0.07	0.0181	0.0476	0.0027	0.0139	0.0731	0.0416	0.0159	0.0301	0.0098	0.0204
3	0.27	0.008	0.009	0.015	-	0.0044	0.0002	-	0.0005	0.0014	-	0.0836	-	0.0420
4	0.27	0.006	0.1	0.02	-	0.0164	0.0043	0.0019	0.0015	0.0475	-	0.0067	-	-
5	-	0.045	0.0435	7.0063	0.0477	0.2331	0.0216	0.002	5.3769	0.0259	0.0114	0.0513	0.0036	0.0193

4.3 ผลการศึกษาโครงสร้างของโลหะทาง Metallography

4.3.1 ตัวอย่างหมายเลข 1 ลักษณะโครงสร้าง



รูปที่ 4.1

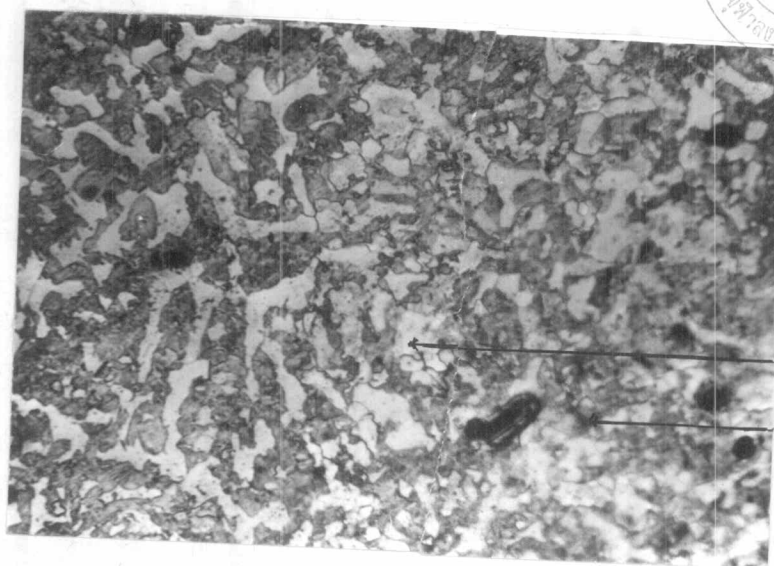
ตัวอย่าง บริเวณด้าน

กำลังขยาย X160

โครงสร้าง

Ferrite¹ (สีขาว)Pearlite² (สีดำ)

น้ำยากัด 4 % Nital



รูปที่ 4.2

ตัวอย่าง บริเวณใบตาบ

กำลังขยาย X160

โครงสร้าง

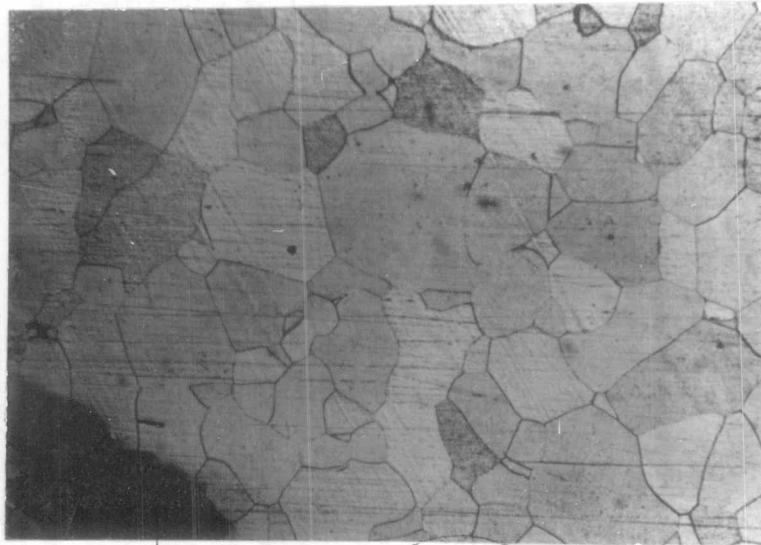
Ferrite (สีขาว)

Pearlite (สีดำ)

น้ำยากัด 4 % Nital

1. Ferrite คือ Solution ของเหล็กกับคาร์บอน ซึ่งมีคาร์บอนละลายอยู่ในเหล็กไม่เกิน 0.02 % ในทาง Metallography จะเห็นเป็นสีขาวเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์
2. Pearlite คือโครงสร้างของเหล็กที่ประกอบด้วย Ferrite (0.025 % คาร์บอน) กับ เหล็กคาร์ไบด์ (6.67 % คาร์บอน) ในทาง metallography จะเห็นเป็นสีดำเมื่อดูด้วยกล้องจุลทรรศน์

4.3.2 ตัวอย่างหมายเลข 2 ลักษณะโครงสร้าง



รูปที่ 4.3

ตัวอย่าง บริเวณด้าน

กำลังขยาย X160

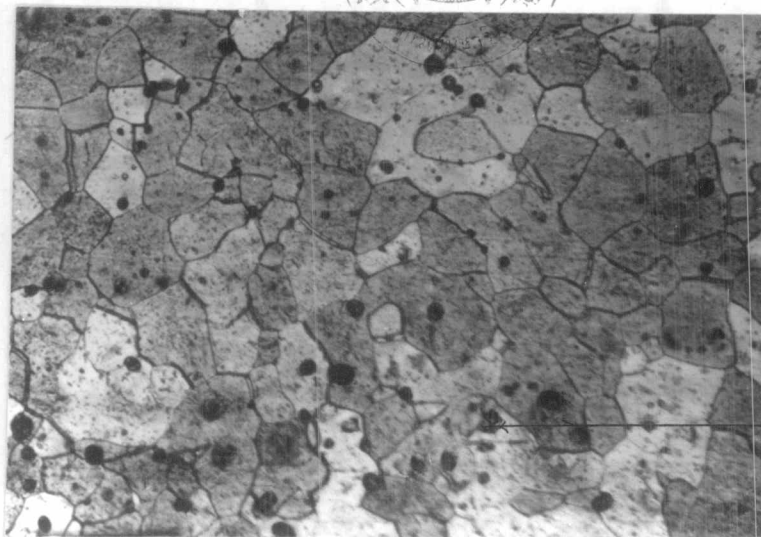
โครงสร้าง

Ferrite (สีขาว)

น้ำยากัด 4 % Nital

สันนิษฐานว่าเป็นตะกรัน

ขณะหลอมเหล็ก



รูปที่ 4.4

ตัวอย่าง บริเวณใบตาบ

กำลังขยาย X160

โครงสร้าง

Ferrite (สีขาว)

น้ำยากัด 4 % Nital

สันนิษฐานว่าเป็นอ็อกไซด์

ของเหล็ก

4.3.3 ตัวอย่างหมายเลข 3 ลักษณะโครงสร้าง



รูปที่ 4.5

ตัวอย่าง บริเวณค้ำ

กำลังขยาย X160

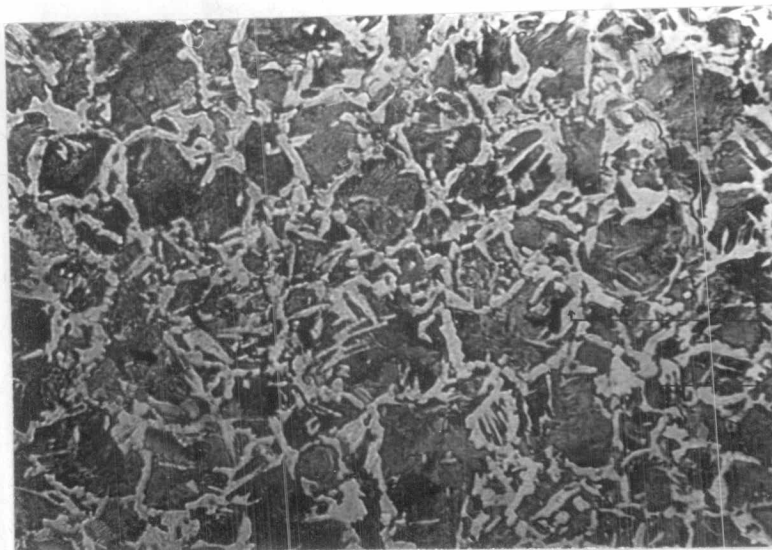
โครงสร้าง

Ferrite (สีขาว)

น้ำยากัด 4 %Nital

สันนิษฐานว่าเป็นตะกั่ว

ขณะหลอม



รูปที่ 4.6

ตัวอย่าง บริเวณใบค้ำ

กำลังขยาย X160

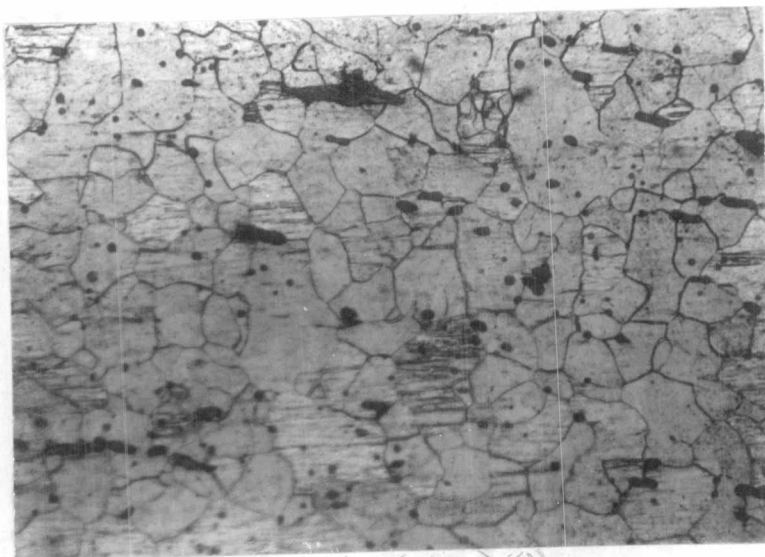
โครงสร้าง

Ferrite(สีขาว)

Pearlite(สีดำ)

น้ำยากัด 4% Nital

4.3.4 ตัวอย่างหมายเลข 4 ลักษณะโครงสร้าง



รูปที่ 4.7

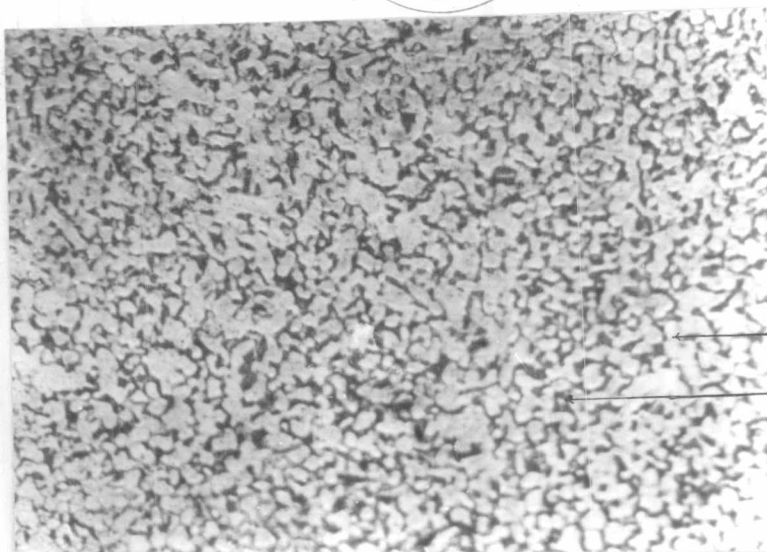
ตัวอย่าง บริเวณค้ำ

กำลังขยาย X160

โครงสร้าง

Ferrite (สีขาว)

น้ำยากัด 4 % Nital



รูปที่ 4.8

ตัวอย่าง บริเวณใบดาบ

กำลังขยาย X160

โครงสร้าง

Ferrite (สีขาว)

Pearlite (สีดำ)

น้ำยากัด 4 % Nital

ทดสอบความแข็ง

เนื่องจากไม่สามารถจะทดสอบหาความแข็งได้ด้วยวิธีใด ๆ เนื่องจากลักษณะของ
 คาบต่อจู่ไทยโบราณไม่เหมาะสม ได้พยายามทดสอบโดยวิธีชีดกับ เหล็กที่ทราบความแข็งแน่นอน
 แล้วที่ค่าต่าง ๆ กัน ที่มีค่า HRC ระหว่าง 22 26 30 34 38 ได้ผลดังนี้

ตัวอย่างที่	ความแข็ง HRC	ปริมาณร้อยละ ของคาร์บอน
1	21	0.18
2	26	0.21
3	35	0.27
4	35	0.27

ตารางที่ 4.8 แสดงความแข็งของตัวอย่างคาบเทียบกับ
 ปริมาณร้อยละของคาร์บอน