

บทที่ 5

ผลการทดลองและวิจารณ์

5.1 ผลการหล่อขึ้นรูป

5.1.1 ชิ้นงานหล่อ

ชิ้นงานอะลูมิเนียมผสมหล่อที่ได้แสดงตามรูปที่ 5.1 เมื่อตรวจสอบสภาพภายนอกที่ปรากฏพบว่าชิ้นงานไม่มีการโค้งหรือบิดงอใด ๆ ไม่มีข้อบกพร่องใดที่ยอมรับไม่ได้ เช่น ภาควัดขวางชิ้นงานไม่กลมมีการเอียงจากศูนย์กลาง 0.2 ถึง 0.5 มิลลิเมตรแต่ก็ยังสามารถใช้งานได้เพราะในการใช้งานจริงต้องตัดเดือนผิวภายนอกอย่างน้อย 1 มิลลิเมตร เพื่อให้ได้ขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบ



รูปที่ 5.1 ชิ้นงานหล่อก่อนการตัดกลึง

5.1.2 ส่วนประกอบทางเคมีทางเคมีของชิ้นงานหล่อ

ผลการตรวจสอบส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานหล่อดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1

ส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานหล่อ (Wt %)

ชิ้นงานหล่อ	Si	Cu	Fe	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Pb	Sn
5% Si	5.058	2.246	0.204	0.020	0.259	0.003	0.001	0.018	0.006	0.007	0.003
7% Si	6.941	2.120	0.214	0.017	0.243	0.001	0.00	0.005	0.008	0.007	0.001
10% Si	10.058	2.162	0.279	0.029	0.504	0.006	0.003	0.039	0.011	0.012	0.005

การเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานหล่อพบว่า ส่วนผสมของซิลิกอนเปลี่ยนแปลงไปตามที่กำหนดคือ 5% 7% และ 10% โดยน้ำหนักสำหรับส่วนผสมของธาตุอื่น ๆ สามารถควบคุมให้มีค่าได้ใกล้เคียงกัน ธาตุที่มีปริมาณส่วนผสมแตกต่างกันมากคือ Mg เช่นในอะลูมิเนียมหล่อ 10% มีปริมาณของ Mg 0.504 % ในขณะที่ อะลูมิเนียมหล่อ 5% และ 7% มี Mg 0.204% และ 0.214 %ตามลำดับ ปกติแล้ว Mg จะมีผลในการเพิ่มความแข็งแรง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอะลูมิเนียมผสมกลุ่มที่สามารถชุบแข็งได้ ความแข็งแรงที่ได้จะเกิดจาก Mg_2Si โดยสรุปแล้วผลกระทบของปริมาณธาตุ Mg ที่เพิ่มมากขึ้นนี้ไม่มีผลต่อความแข็งแรงมากนัก เพราะคุณสมบัติเรื่องความแข็งแรงของอะลูมิเนียมผสมหล่อกลุ่ม Al-Si จะถูกควบคุมด้วยปริมาณและโครงสร้างของซิลิกอน⁽⁹⁾ เป็นส่วนใหญ่

เมื่อเปรียบเทียบส่วนประกอบทางเคมีของชิ้นงานหล่อที่ได้กับส่วนประกอบทางเคมีของ AC2B และ AC4B แล้วปรากฏว่าทุกธาตุอยู่ในช่วงที่ควบคุม โดยเฉพาะ Fe Mn Cr Ni Zn Ti Pb Sn ต่ำกว่าค่ากำหนดของ AC2B และ AC4B มาก ซึ่งธาตุที่มีปริมาณส่วนผสมใกล้เคียงกับค่ากำหนดคือ Mg

5.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

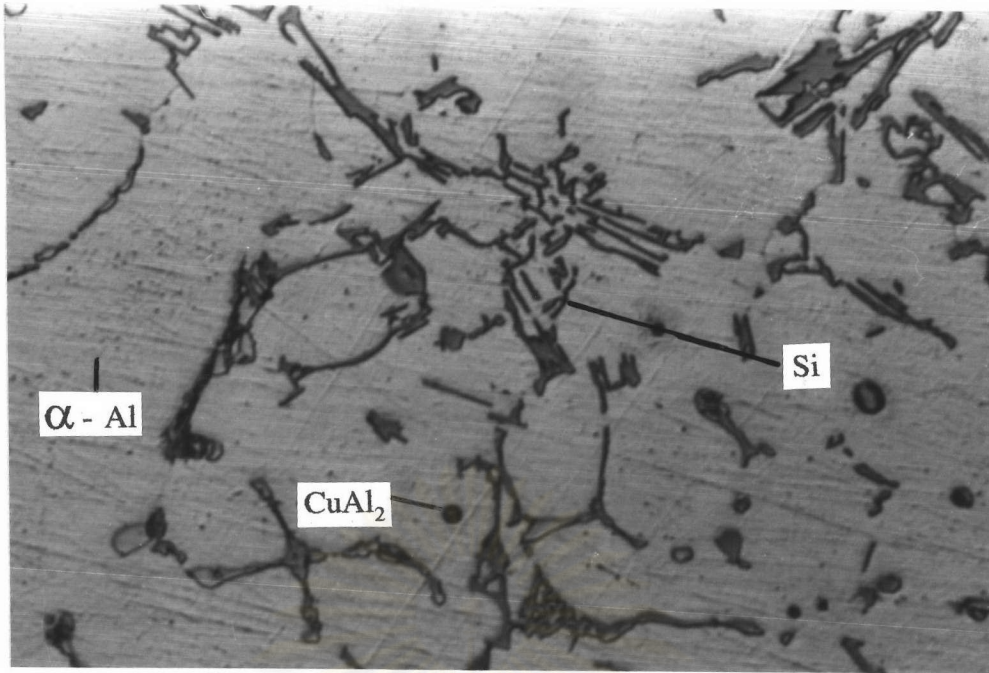
เริ่มต้นอย่างผ่านการกัดด้วยสารละลายกรด 0.5% HF เมื่อนำมาตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ด้วยกำลังขยาย 100-500 เท่า และเปรียบเทียบผลการตรวจสอบกับการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นแสดงให้เห็นว่าเฟสที่เกิดขึ้นของอะลูมิเนียมผสมกลุ่มนี้ คือ α -Al Si CuAl_2 และเฟสของ FeSiAl ดังแสดงในรูปที่ 5.2 5.3 และ 5.4

ปริมาณของแต่ละเฟสนั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณส่วนผสมของ Si จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ภาพ (Image Analyser) เพื่อหาสัดส่วนพื้นที่ของเฟส α -Al และเฟสที่อยู่ระหว่างเดนไดรต์ (Interdendritic Phase) สรุปรูปชนิดอะลูมิเนียมผสมและเปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ที่ได้ดังตารางที่ 5.2 ส่วนเฟสอื่น เช่น CuAl_2 FeSiAl ซึ่งมีปริมาณน้อยและรูปร่างลักษณะของเฟสที่ไม่มีผลต่อความแข็งแรงสูงจึงไม่ได้ทำการศึกษาในรายละเอียดสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ภาพเพื่อหาค่าความกว้างของระยะห่างแขนของเดนไดรต์พบว่า อะลูมิเนียมผสม 5% Si 7% Si และ 10% Si มีระยะห่างแขนโดยเฉลี่ย 10.69 ไมครอน 12.16 ไมครอน และ 34.38 ไมครอน ตามลำดับ

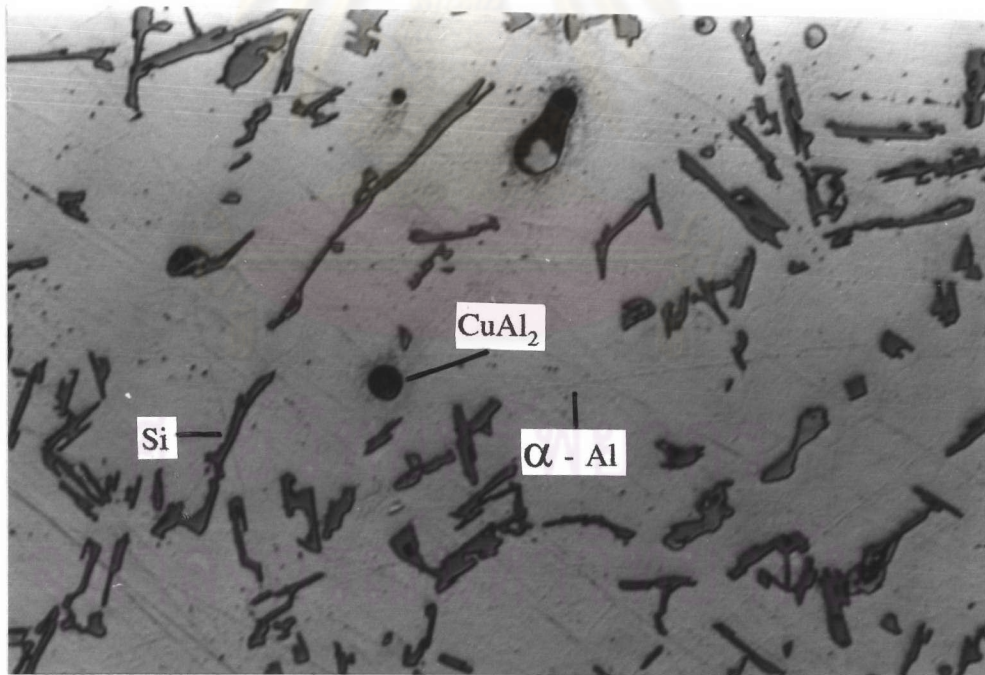
ตารางที่ 5.2 สัดส่วนพื้นที่ของเฟส α -Al และเฟสที่อยู่ระหว่างแขนเดนไดรต์

อะลูมิเนียมผสม	เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่	
	เฟส α -Al	เฟสซิลิคอนและอื่น ๆ
5% Si	93.33%	6.67%
7% Si	91.15%	8.85%
10% Si	83.06%	16.94%

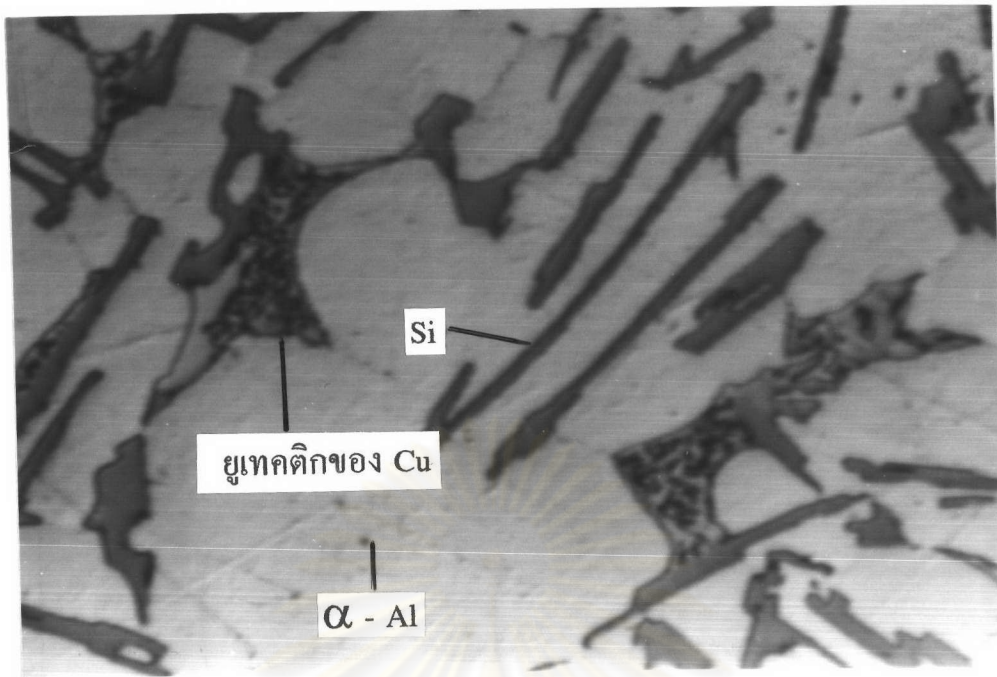
รูปที่ 5.5 ถึง 5.7 ได้แสดงรูปร่าง ตำแหน่งและขนาดของรูพรุน กล่าวคือ รูพรุนที่เกิดขึ้นในอะลูมิเนียมผสมเกรด AC2B และ AC4B นี้มีรูปร่างเป็นมุม มักจะอยู่ในเฟสยูเทคติก ขนาดที่พบ 25-150 μm รูพรุนขนาดโตที่สุดพบในอะลูมิเนียมผสม 10%Si



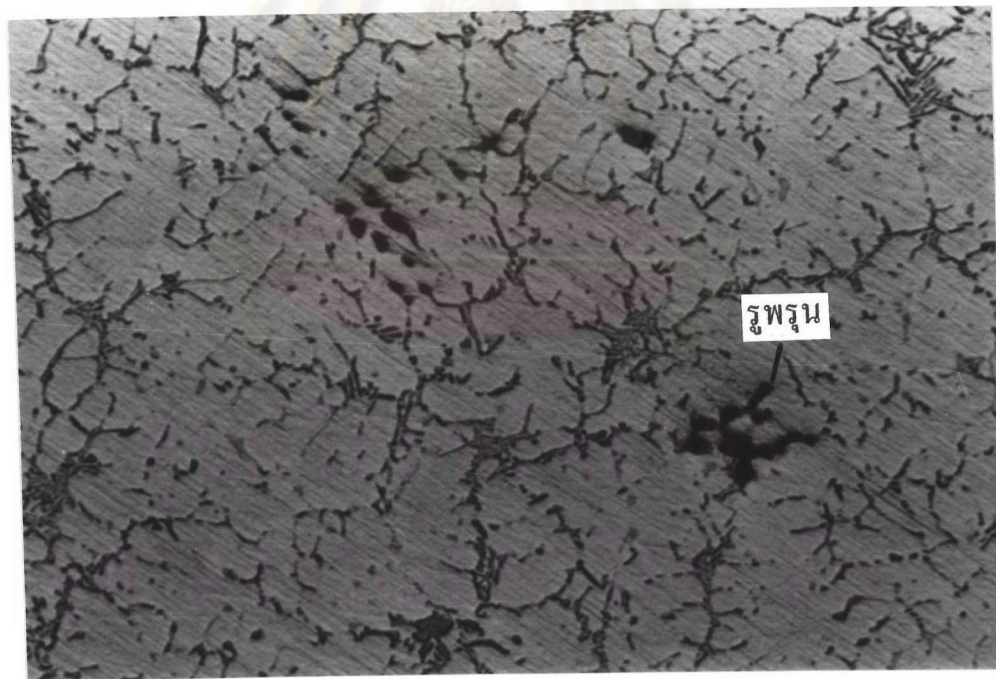
รูปที่ 5.2 โครงสร้างของอะลูมิเนียมผสม 5% Si ผ่านการกัดด้วยกรด 0.5% HF กำลังขยาย 400 เท่า เฟสประกอบด้วย α -Al CuAl_2 และ Si



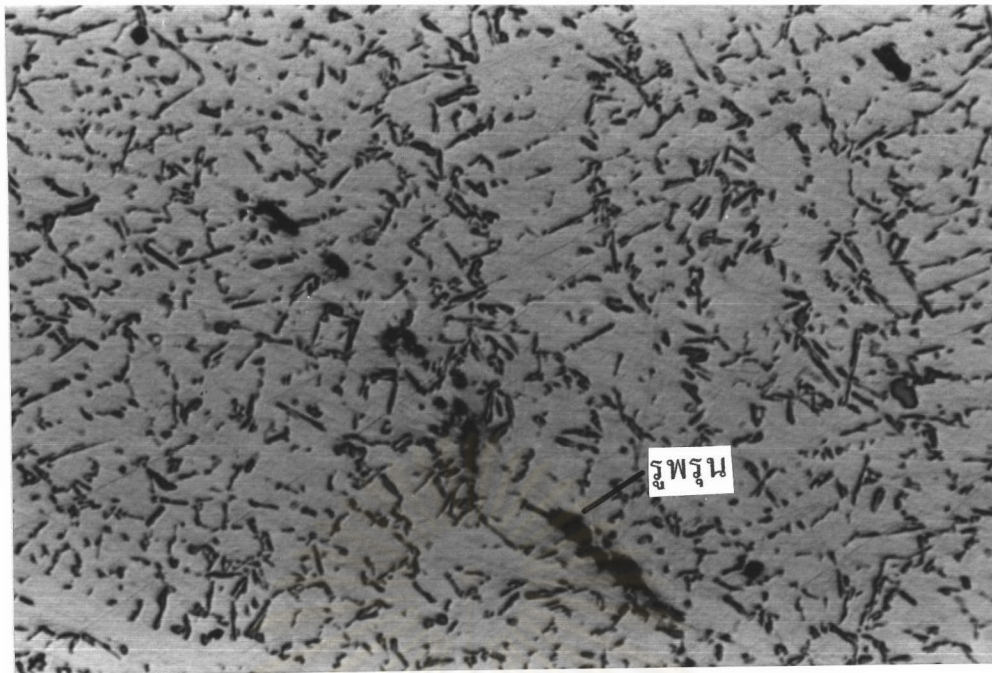
รูปที่ 5.3 โครงสร้างของอะลูมิเนียมผสม 7%Si จากชิ้นงานที่จะทดสอบความล้า ผ่านการกัดด้วยกรด 0.5% HF กำลังขยาย 400 เท่า เฟสประกอบด้วย α -Al CuAl_2 และ Si



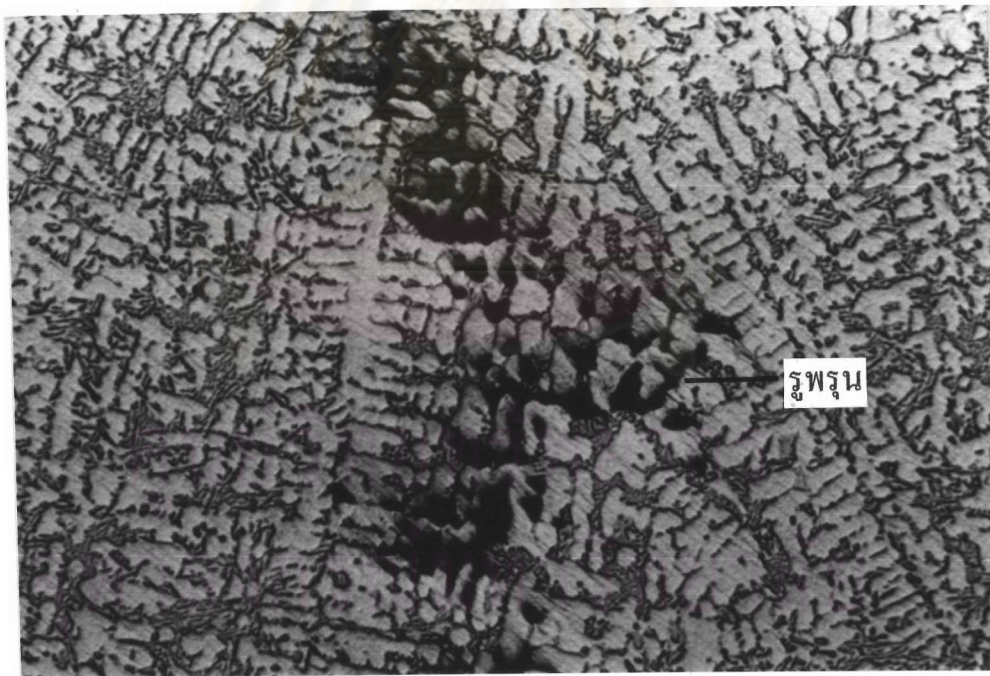
รูปที่ 5.4 โครงสร้างของอะลูมิเนียมผสม 10% Si ผ่านการกัดด้วยกรด 0.5% HF กำลังขยาย 1000 เท่า เฟสประกอบด้วย α -Al Si และยูเทคติกของ Al-CuAl₂-Fe



รูปที่ 5.5 รูพรุนของอะลูมิเนียมผสม 5% Si กำลังขยาย 100 เท่า พื้นผิวในสภาพขัด รูพรุนอยู่กันเป็นกลุ่ม เส้นผ่าศูนย์กลางกลาง 25-50 μ m



รูปที่ 5.6 รูพรุนของอะลูมิเนียมผสม 7% Si กำลังขยาย 100 เท่า ในสภาพผิวขัด
รูพรุนกระจายอยู่ทั่วไปขนาด 30-100 μm



รูปที่ 5.7 รูพรุนของอะลูมิเนียมผสม 10% Si กำลังขยาย 100 เท่า ในสภาพผิวขัด
รูพรุนอยู่กันเป็นกลุ่มใหญ่ มีขนาด 50-150 μm

5.3 ผลการทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุด

ชิ้นงาน	ความเค้นแรงดึงสูงสุด (MPa)
5% Si	211.9
7% Si	214.9
10% Si	213.7
AC2B-F	ไม่ต่ำกว่า 157
AC4B-F	ไม่ต่ำกว่า 177

ตารางที่ 5.3 ผลการทดสอบความเค้นแรงดึงสูงสุดเปรียบเทียบกับเกรดมาตรฐาน

การนำผลการสอบความเค้นแรงดึงสูงสุดของอะลูมิเนียมผสมหล่อ 5% 7% และ 10% ซิลิคอนซึ่งมีค่า 211.9 214.9 213.7 MPa ตามลำดับมาเปรียบเทียบกับค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดของอะลูมิเนียมผสมหล่อเกรด AC2B-F และ AC4B-F ซึ่งมีค่า 157 และ 177 MPa ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความเค้นแรงดึงที่ได้จากการทดสอบมีค่าสูงกว่าของเกรดมาตรฐานมาก จากชิ้นงานที่มีปริมาณของซิลิคอนมากขึ้น เห็นได้ว่าค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้นเล็กน้อย และลดลงเมื่อเปรียบเทียบจากข้อมูลเบื้องต้น โดยทั่วไปอะลูมิเนียมผสมในกลุ่มไฮโปยูเทคติกเมื่อปริมาณของ Si เพิ่มมากขึ้นแล้ว ความเค้นแรงดึงสูงสุดควรที่จะเพิ่มขึ้น ซึ่งขัดแย้งกับผลการทดสอบ ความแปรปรวนที่เกิดขึ้นสามารถอธิบายได้ว่า เนื่องจากอะลูมิเนียมผสม 10% Si มีรูพรุนขนาดใหญ่สูงสุดถึง 150 μm จึงมีผลให้ความเค้นแรงดึงสูงสุดลดลง⁽¹⁰⁾ ดังที่ปรากฏ

5.4 ผลการทดสอบอายุการล้า

ข้อมูลผลการทดสอบอายุการล้าแบบหมุนตัดปลายอิสระ ($R = -1$) ความถี่ 1 Hz. ของอะลูมิเนียมผสม 5% 7% และ 10% ซิลิกอน ในช่วงอายุระหว่าง $10^4 - 3 \times 10^6$ รอบ แสดงดังตารางที่ 5.4 เมื่อพิจารณาค่าความแข็งแรงล้า (Fatigue Strength) ที่ 3×10^6 รอบ แล้ว พบว่าอะลูมิเนียมผสม 5% 7% และ 10% ซิลิกอนมีความค่าแข็งแรงล้า 70 50 และ 40 MPa. ตามลำดับ เห็นได้ว่าค่าความแข็งแรงล้าหรืออายุการล้าของอะลูมิเนียมผสมลดลงเมื่อปริมาณซิลิกอนสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความแข็งแรงล้าของ A380⁽¹²⁾ ที่ได้จากการหล่อโลหะแบบฉีด มีค่าความแข็งแรงล้า 61.36 Mpa (8.9 Ksi) ที่ 3167000 รอบ ซึ่งสูงกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้อะลูมิเนียมหล่อจากการหล่อแบบฉีดจะมีความแข็งแรงกว่าอะลูมิเนียมหล่อที่ได้จากแบบหล่อถาวรโดยทั่วไป

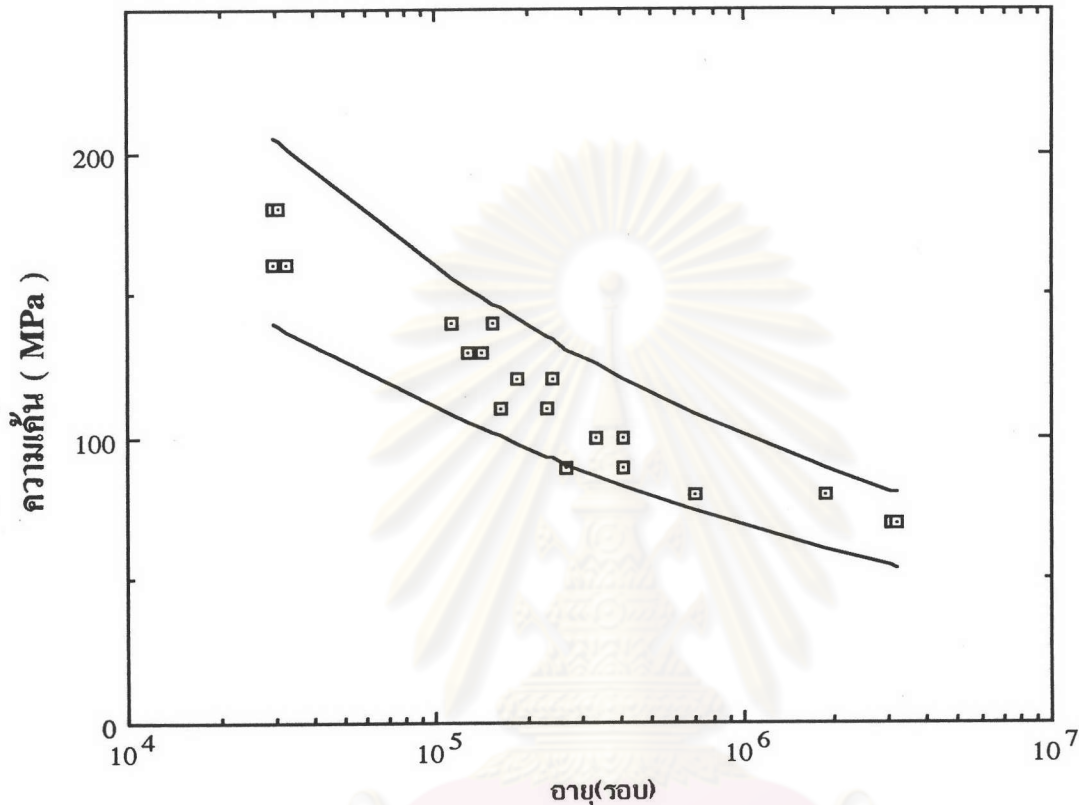
ลำดับ ที่	ความเค้น (MPa)	อายุการล้า (รอบ)					
		5% Si		7% Si		10% Si	
1	180	29,860	30,740	*	*	*	*
2	160	29,620	32,640	*	*	*	*
3	140	151,650	111,680	113,650	102,590	67,100	77,280
4	130	139,650	127,550	97,720	223,750	93,950	68,890
5	120	239,080	183,100	264,550	366,020	165,590	145,720
6	110	229,510	160,830	238,690	176,530	88,380	170,480
7	100	407,160	330,350	308,100	307,250	284,700	144,280
8	90	411,020	267,320	871,670	586,720	157,040	151,230
9	80	698,890	1,868,700	545,880	112,730	427,320	226,220
10	70	3,063,590	3,152,210	587,620	249,330	352,650	339,730
11	60			445,760	3,487,470	664,950	497,130
12	50			3,171,180	3,201,590	2,296,030	491,810
13	40					1,116,400	2,953,860

* ข้อมูลไม่ได้ทดสอบเนื่องจากพิจารณาว่าชิ้นงานแตกหักที่จำนวนรอบต่ำ

ตารางที่ 5.4 ผลข้อมูลอายุการล้าของอะลูมิเนียมผสม 5% 7% และ 10% ซิลิกอน

การนำข้อมูลอายุการล้ามาสร้างแผนภูมิ S-N พบว่าอายุการล้ามีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อระดับค่าความเค้นที่กระทำต่อชิ้นทดสอบลดลง ดังแสดงในรูปที่ 5.8 5.9 และ 5.10

อายุการล้าของอะลูมิเนียมผสม 5% ซิลิคอน

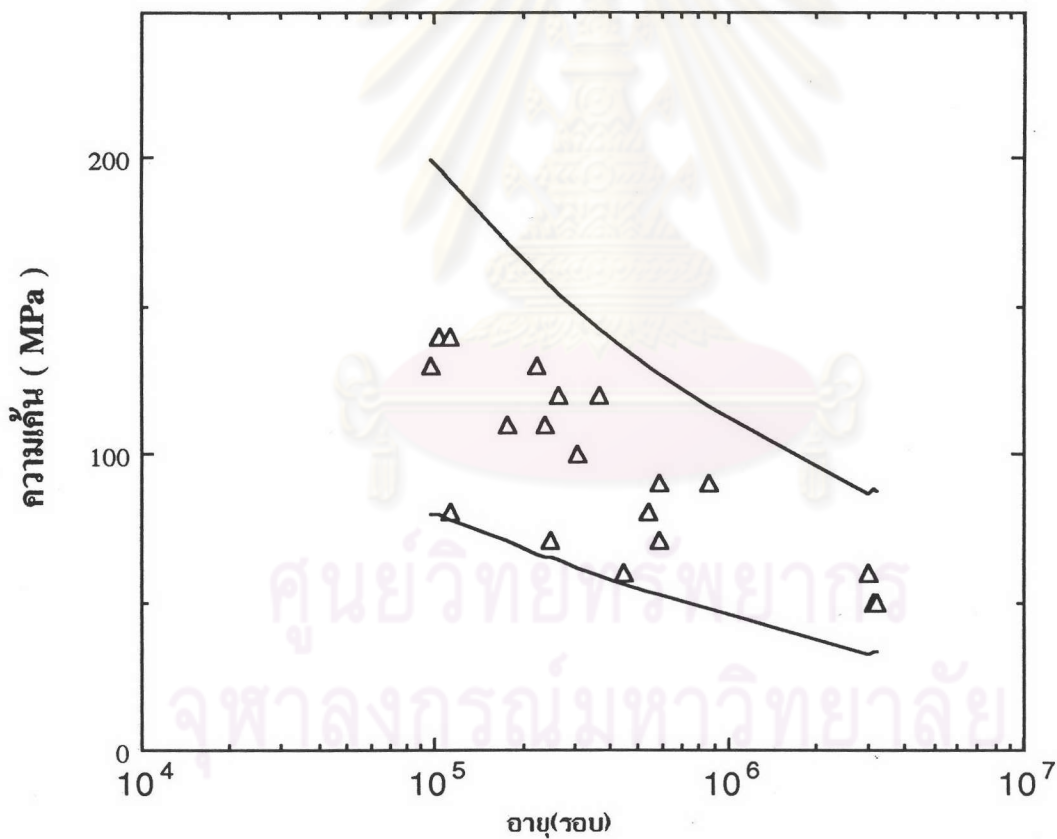


รูปที่ 5.8 อายุการล้าของอะลูมิเนียมผสม 5% ซิลิคอนและขีดจำกัดบนและล่างของความเชื่อมั่น 95 %

การพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างรูปที่ 5.8 5.9 และ 5.10 พบว่าความกว้างของขีดจำกัดบนล่างความเชื่อมั่น 95% ซึ่งแสดงถึงความแปรปรวนของอายุการล้าจะมีความกว้างแตกต่างกันคืออะลูมิเนียมผสม 5% ซิลิคอน มีช่วงควบคุมที่แคบใกล้เคียงกับ 10% ซิลิคอน แต่ 7% ซิลิคอนกว้างมากที่สุด ความแปรปรวนของอายุการล้าส่วนหนึ่งเกิดจากความยากง่ายในการเริ่มต้นการแตกหัก รูพรุนที่มีขนาดแตกต่างกันใช้เวลาในการเริ่มเกิดการแตกหักต่างกัน⁽¹³⁾ ถ้ารูพรุนขนาดเล็กจะเกิดการเริ่มเกิดการแตกหักยากและใช้เวลานาน ส่วนรูพรุนขนาด

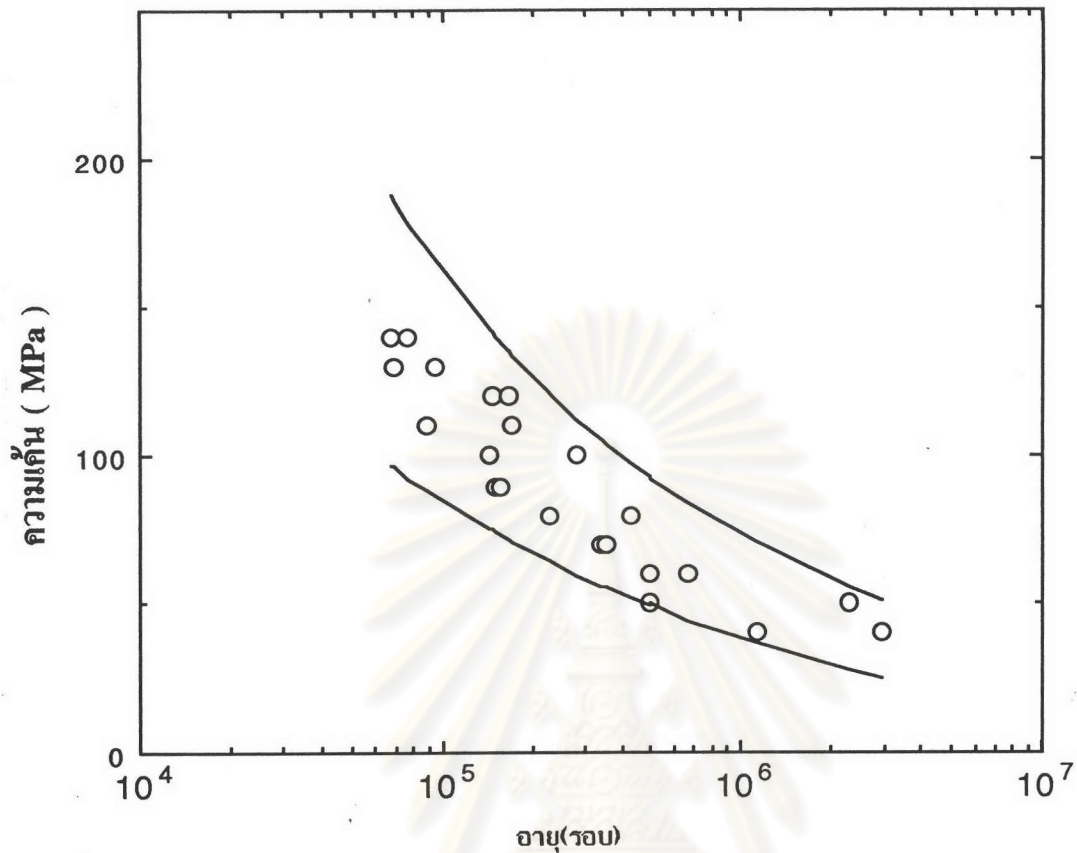
ใหญ่จะเริ่มเกิดการแตกหักง่ายและใช้เวลาน้อยกว่า จากการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคของ อะลูมิเนียมผสม 5% ซิลิคอนหลายชิ้น พบว่ามีรูพรุนขนาดเล็ก (20-50 μm) และมีขนาดใกล้เคียงกัน ทำให้ช่วงอายุที่ใช้ในการเริ่มเกิดการแตกหักใกล้เคียงกัน มีผลให้การแปรปรวนของอายุการล้ามีค่าน้อยกว่าอะลูมิเนียมผสมอื่นๆ ทำนองเดียวกันจากการตรวจสอบรูพรุนของชิ้นทดสอบอะลูมิเนียมผสม 10% ซิลิคอนหลายชิ้น พบว่าแต่ละชิ้นมีรูพรุนขนาดใหญ่ (50-150 μm) และมีขนาดใกล้เคียงกัน ทำให้ช่วงอายุของการเริ่มเกิดการแตกหักใกล้เคียงกัน มีผลให้ความแปรปรวนของอายุการล้าน้อย แต่จากการตรวจสอบขนาดรูพรุนในอะลูมิเนียมผสม 7% ซิลิคอน พบว่าแต่ละชิ้นทดสอบมีขนาดและจำนวนรูพรุน(30-100 μm) แตกต่างกันมาก จึงทำให้เวลาที่เริ่มเกิดการแตกหักแตกต่างกันมาก ซึ่งมีผลให้ช่วงอายุของการเริ่มเกิดการแตกหักแตกต่างกันมาก อายุการล้าจึงแปรปรวนมากกว่าอะลูมิเนียมผสมอื่น

อายุการล้าของอะลูมิเนียม 7% ซิลิคอน



รูปที่ 5.9 อายุการล้าของอะลูมิเนียมผสม 7% ซิลิคอนและขีดจำกัดบนและล่างของความเชื่อมั่น 95 %

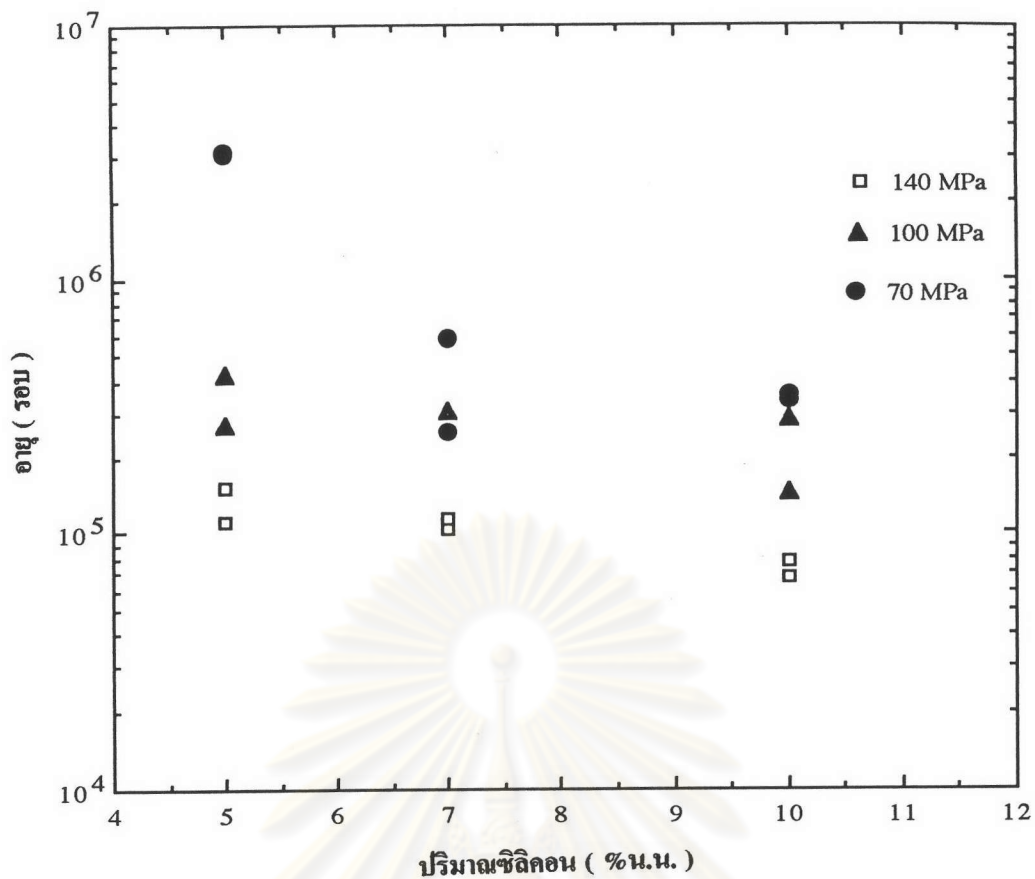
อายุการล้าของอะลูมิเนียมผสม 10%ซิลิคอน



รูปที่ 5.10 อายุการล้าของอะลูมิเนียมผสม 10% และซิลิคอน 1% และความเค้นและความเครียดของอะลูมิเนียมผสม 10% และความเค้นและความเครียดของอะลูมิเนียมผสม 10% และความเค้นและความเครียดของอะลูมิเนียมผสม 10% และความเค้นและความเครียดของอะลูมิเนียมผสม 10%

ผลกระทบของปริมาณซิลิคอนต่ออายุการล้า

เมื่อพิจารณาการทดสอบอายุการล้าแล้ว ตารางที่ 5.4 ที่ระดับความเค้นเดียวกันพบว่า อายุการล้าลดลงเมื่อปริมาณซิลิคอนมากขึ้น จากความเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ได้สรุปดังแสดง รูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 ผลของปริมาณซิลิกอนต่ออายุการล้าเมื่อเปรียบเทียบที่ระดับความเค้น 70 100 140 MPa

จากรูปที่ 5.11 เห็นว่าได้เมื่อปริมาณขนาดของซิลิกอนเพิ่มมากขึ้นจะทำอายุการล้าลดลง โดยเฉพาะที่ระดับความเค้นต่ำหรืออายุการล้ามาก เช่น ระดับความเค้น 70 MPa อายุการล้าลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อปริมาณของซิลิกอนเพิ่มขึ้นจาก 5% เป็น 10% ปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นนี้อธิบายได้ว่าในขั้นตอนการเริ่มต้นการแตกหักนั้น อะลูมิเนียมผสมที่มีปริมาณซิลิกอนที่สูงกว่านั้นเกิดเริ่มต้นการแตกหักได้ง่ายกว่าเพราะว่าขนาดรูพรุนโตกว่าทำให้เกิดความเค้นที่จุดรวมความเค้นสูงกว่าและอีกเหตุผลหนึ่งคือในขั้นตอนการขยายตัวของรอยแตกร้าวนั้นการขยายตัวมักจะผ่านเฟสที่อยู่ระหว่างแกนของเดนไดรต์ α -Al ซึ่งมีเฟสซิลิกอนที่ประอบอยู่มาก และเมื่ออะลูมิเนียมผสมมีปริมาณซิลิกอนมากขึ้นมีเฟสดังกล่าวก็จะมีมากขึ้น ทำให้ขยายรอยแตกได้ง่ายกว่า ซึ่งรายละเอียดการขยายตัวการแตกหักนี้อธิบายละเอียดในหัวข้อที่ 5.5.3

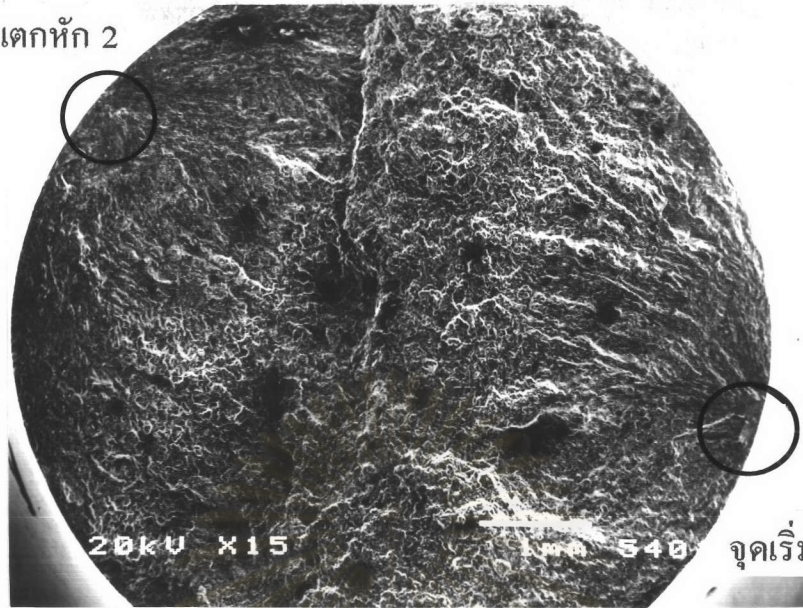
5.5 ผลการวิเคราะห์ผิวการแตกหัก

5.5.1 ลักษณะทั่วไปของผิวการแตกหัก

จากการตรวจดูผิวการแตกหักอะลูมิเนียมผสมหล่อที่ผ่านการทดสอบความล้าด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (SEM) กำลังขยาย 15 เท่าพบว่าผิวการแตกหักที่ปรากฏแตกต่างจากผิวการแตกหักด้วยความล้าของวัสดุเหนียว (Ductile) ที่เป็นเนื้อเดียวกัน ทั่ว ๆ ไป กล่าวคือ ผิวการแตกหักไม่เรียบค่อนข้างขรุขระ ไม่ปรากฏบิชมาร์คให้เห็นได้ชัดเจน ผิวการแตกหักของอะลูมิเนียมผสมหล่อตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบความล้านี้ สามารถพบจุดเริ่มต้นการเกิดการแตกหักได้โดยสังเกตคูทิสทางของสัน (Ridge) ซึ่งรวมไปที่จุดเริ่มต้นการแตกหัก บริเวณใกล้กับจุดเริ่มต้นการแตกหักไม่ปรากฏบิชมาร์ค (Beach Mark) ชัดเจนบริเวณการขยายของรอยแตกจะค่อนข้างเรียบมีสัน (Ridge) บ่งชี้ทิศทางที่เปลี่ยนแปลงหรือเชื่อมโยงในระนาบหลักกับระนาบรองระหว่างระยะเวลาการขยายตัวของรอยแตกแล้ว ส่วนบริเวณการแตกหักขั้นสุดท้ายมีผิวค่อนข้างหยาบกว่าบริเวณการขยายตัวของรอยแตกแสดงความเปราะชัดเจน สัดส่วนพื้นที่ของการแตกแต่ละขั้นตอนปรากฏร่องรอยหลักฐานการแตกหักเปลี่ยนแปลงไปตามระดับความเค้นที่กระทำก่อนเกิดการแตกหัก ซึ่งพอที่จะประมาณระยะเวลาที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนได้พอสมควร เช่นเมื่อมีค่าความเค้นมากขึ้น พื้นที่ของการขยายตัวของรอยแตกลดลงในขณะที่พื้นที่การแตกหักขั้นตอนสุดท้ายมากขึ้นเป็นต้น ผลการวิเคราะห์ผิวการแตกหักที่พบเป็นปกติสำหรับตัวอย่าง 10%Si คือ จำนวนของจุดเริ่มเกิดรอยแตกหักด้วยความล้าที่มีอยู่มากทั้งที่บริเวณผิว หรือใต้ผิวดังอย่าง ชี้งานเมื่อเทียบกับตัวอย่าง 5%Si ในขณะที่ตัวอย่าง 7%Si มีจำนวนของจุดเริ่มเกิดรอยแตกที่มากกว่า 5%Si แต่ไม่เท่า 10%Si โดยเฉลี่ย มีกลุ่มของจุดเริ่มเกิดรอยแตกบ้างแต่ไม่มากเท่า 10%Si ที่พบได้ทั่วไปโดยเฉพาะบริเวณใกล้ผิวดังอย่างชี้งาน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จุดเริ่มต้นการแตกหัก 2



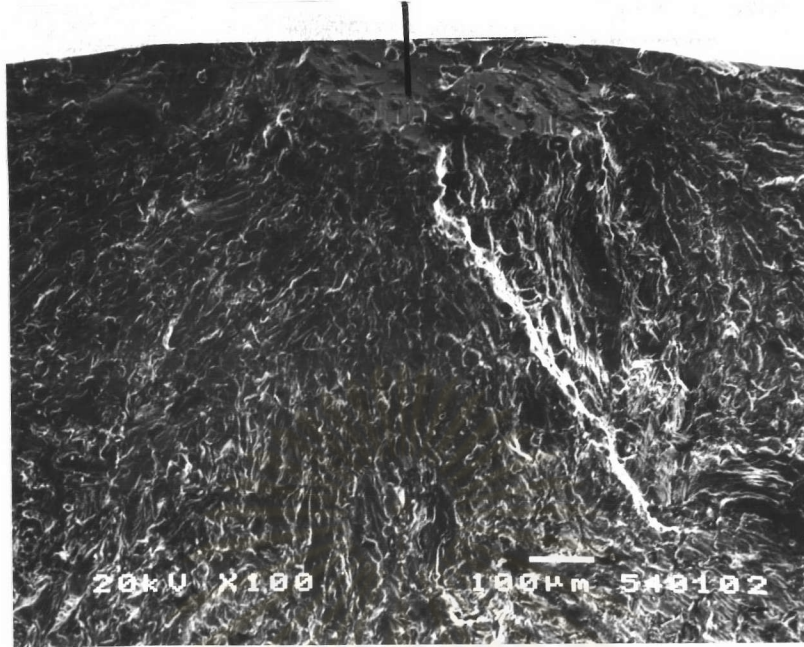
จุดเริ่มต้นการแตกหัก 1

รูปที่ 5.12 ลักษณะผิวการแตกหักทั่วไปของอะลูมิเนียมผสมหล่อซึ่งเป็นผิวการแตกหักจากการทดสอบการล้าแบบหมุนดัดของอะลูมิเนียมผสม 5 % ซิลิกอนความเค้นสูงสุด 80 Mpa อายุการล้า 698,890 รอบ

5.5.2 จุดเริ่มต้นการแตกหัก

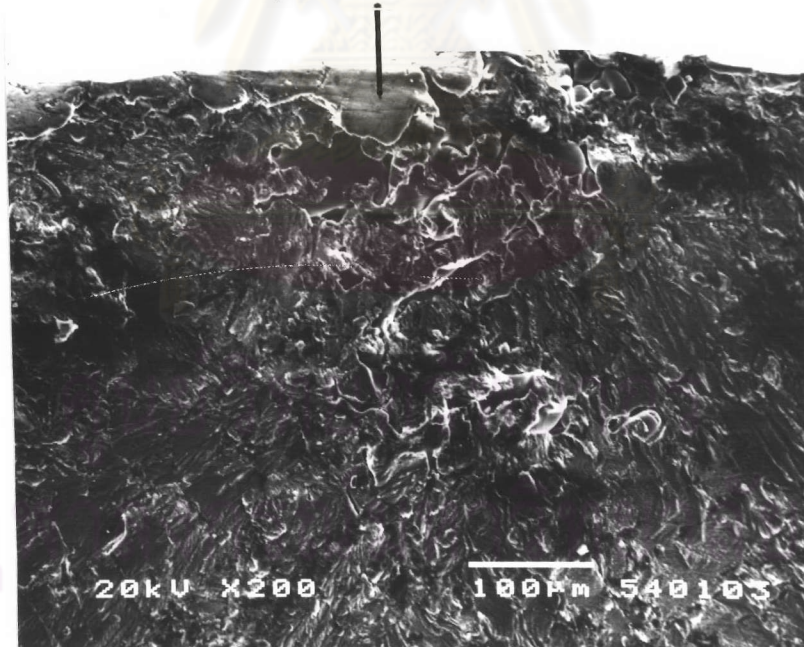
การสังเกตทิศทางและจุดรวมเส้นสัน (Ridge) และตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด กำลังขยาย 100-350 เท่า บริเวณจุดรวมเส้นสัน (Ridge) และใกล้ผิวของชิ้นทดสอบ ซึ่งเป็นบริเวณที่เกิดความเค้นสูงสุดพบจุดเริ่มต้นการแตกหักจากการสังเกตและตรวจสอบดังกล่าวยืนยันได้ว่าการเริ่มต้นการแตกหักทั้งหมดของอะลูมิเนียมผสม 5% 7% และ 10% ซิลิกอน เนื่องจากรูพรุนแทบทั้งสิ้น มีลักษณะทั่วไปดังแสดงในรูปที่ 5.13 ถึงรูปที่ 5.19

จุดเริ่มต้นการแตกหัก 1



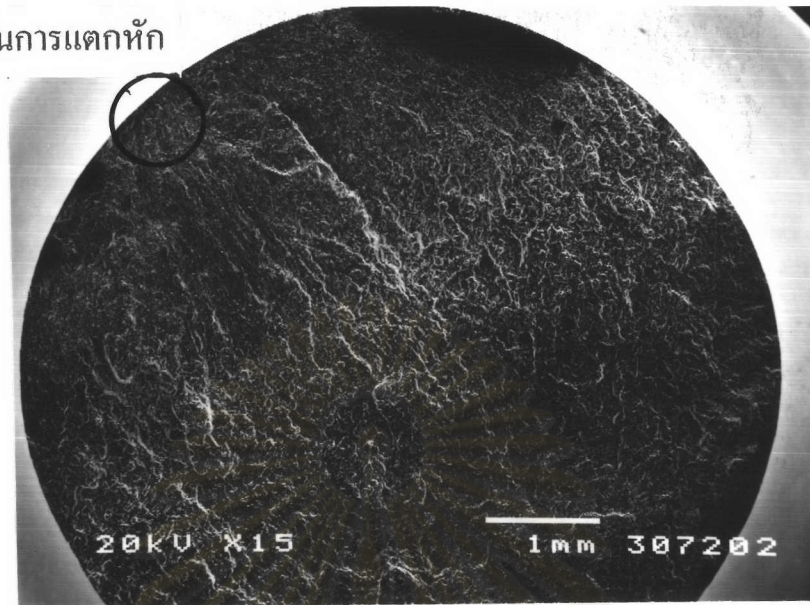
รูปที่ 5.13 บริเวณเริ่มต้นการแตกหักที่ 1 ของอะลูมิเนียมผสม 5% ซิลิคอน ของผิวการแตกหักรูปที่ 5.12

จุดเริ่มต้นการแตกหัก 2

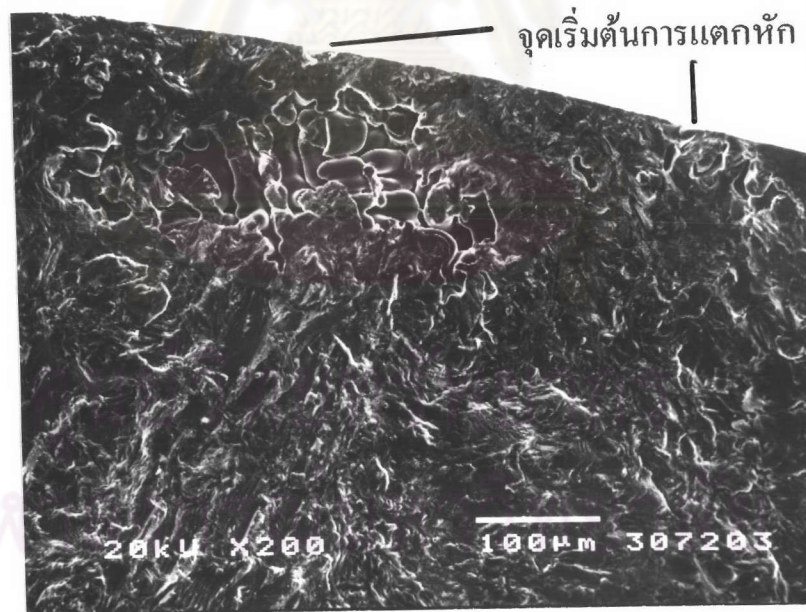


รูปที่ 5.14 บริเวณเริ่มต้นการแตกหักที่ 2 ของอะลูมิเนียมผสม 5% ซิลิคอน ของผิวการแตกหักรูปที่ 5.12

จุดเริ่มต้นการแตกหัก



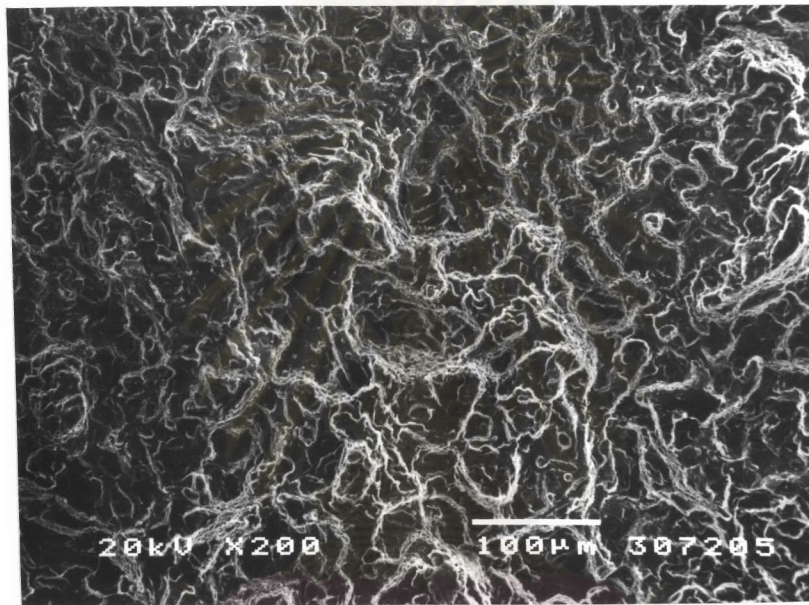
รูปที่ 5.15 ผิวนการแตกหักจากการทดสอบการล้าแบบหมุนคัตของอะลูมิเนียม 7% ซิลิกอน ความเค้นสูงสุดที่กระทำ 60 MPa อายุการล้า 3,487,470 รอบ



รูปที่ 5.16 บริเวณเริ่มต้นการแตกหักของอะลูมิเนียมผสม 7 % ซิลิกอน ของ ผิวนการแตกหักรูปที่ 5.15

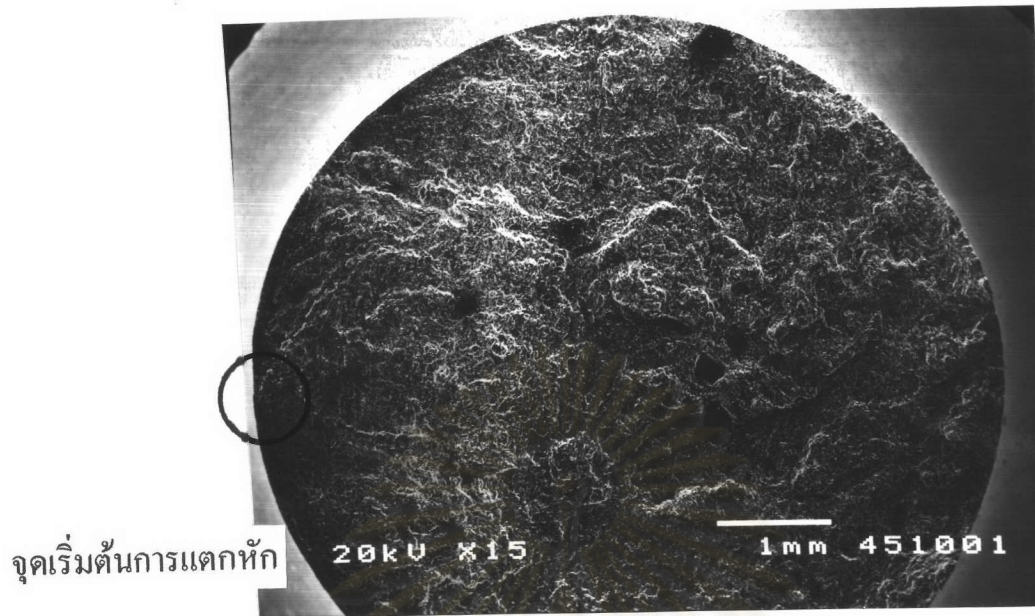
5.5.3 การขยายตัวของรอยแตก

จากการตรวจสอบผิวการแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน กำลังขยาย 15 เท่า ที่บริเวณพื้นที่การขยายตัวของรอยแตก จะพบเส้นสัน (Ridge) ซึ่งเกิดจากการเชื่อมต่อของระนาบการแตกหัก ซึ่งปลายข้างหนึ่งของเส้นสันจะไปรวมกันที่จุดเริ่มต้นการแตกหัก ดังแสดงในรูปที่ 5.16

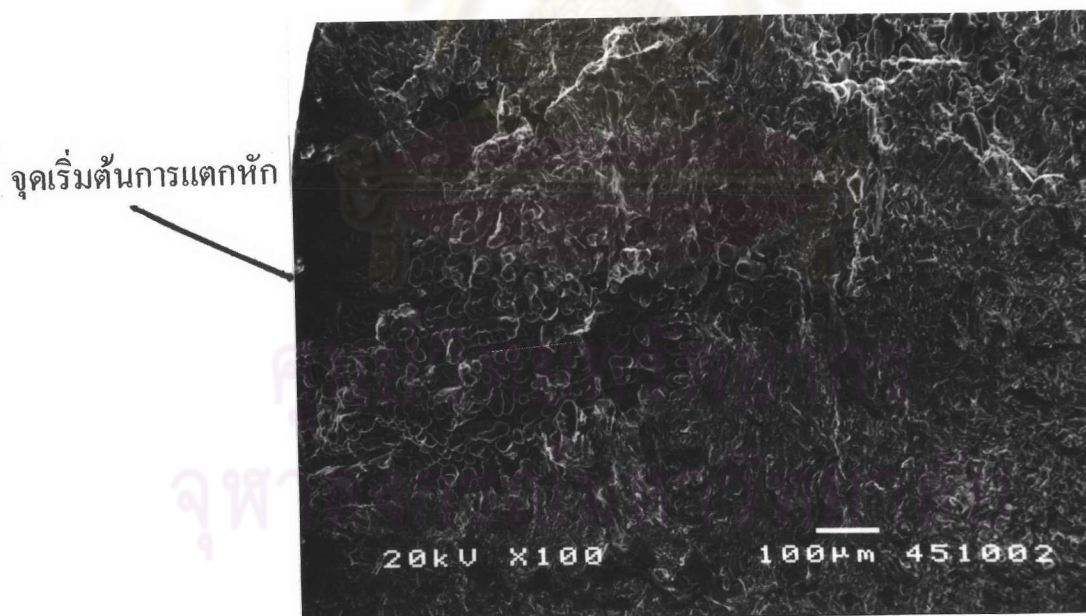


รูปที่ 5.20 พื้นผิวการแตกหักบริเวณการขยายตัวของรอยแตก

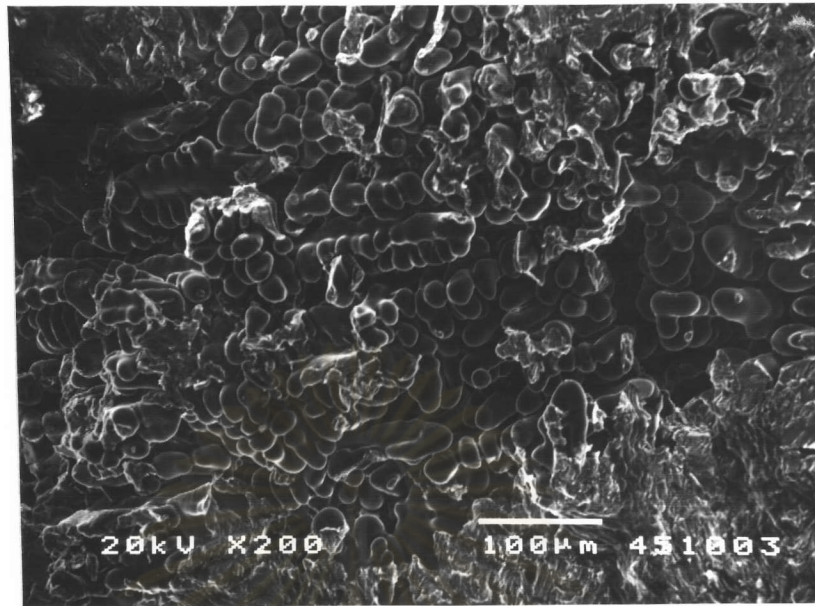
เมื่อนำชิ้นทดสอบที่เกิดแตกหักแล้วไปตัดผ่าทิศทางตั้งฉากกับผิวการแตกหัก และขนานกับแนวแกนของชิ้นทดสอบ แล้วนำผิวที่ผ่ามาศึกษาดูโครงสร้างจุลภาคได้ผิวการแตกหักพบว่า อะลูมิเนียมผสมหล่อ Al-Si ทั้ง 3 ส่วนผสม มักขยายรอยแตกผ่านเข้าไปในซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 5.21 5.22 และ 5.23



รูปที่ 5.17 ผิวการแตกหักจากการทดสอบการล้าแบบหมุนตัดของอะลูมิเนียมผสม 10 % ซิลิกอน ความเค้นสูงสุดที่กระทำ 40 Mpa อายุการล้า 2,953,860 รอบ

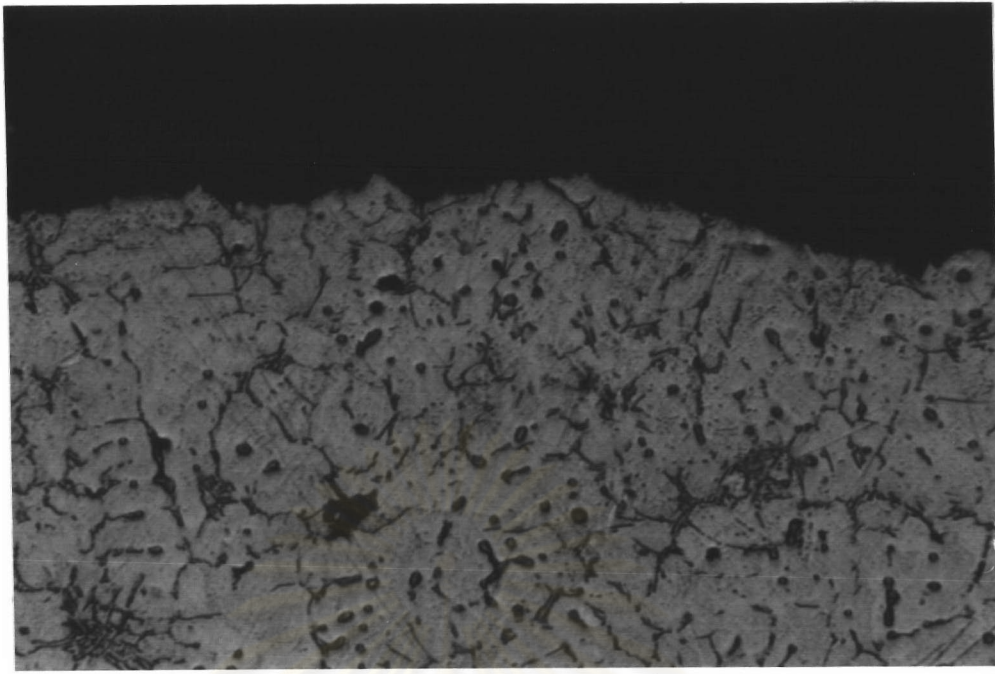


รูปที่ 5.18 บริเวณเริ่มต้นการแตกหักของอะลูมิเนียมผสม 10 % ซิลิกอน ของผิวการแตกหักรูปที่ 5.17

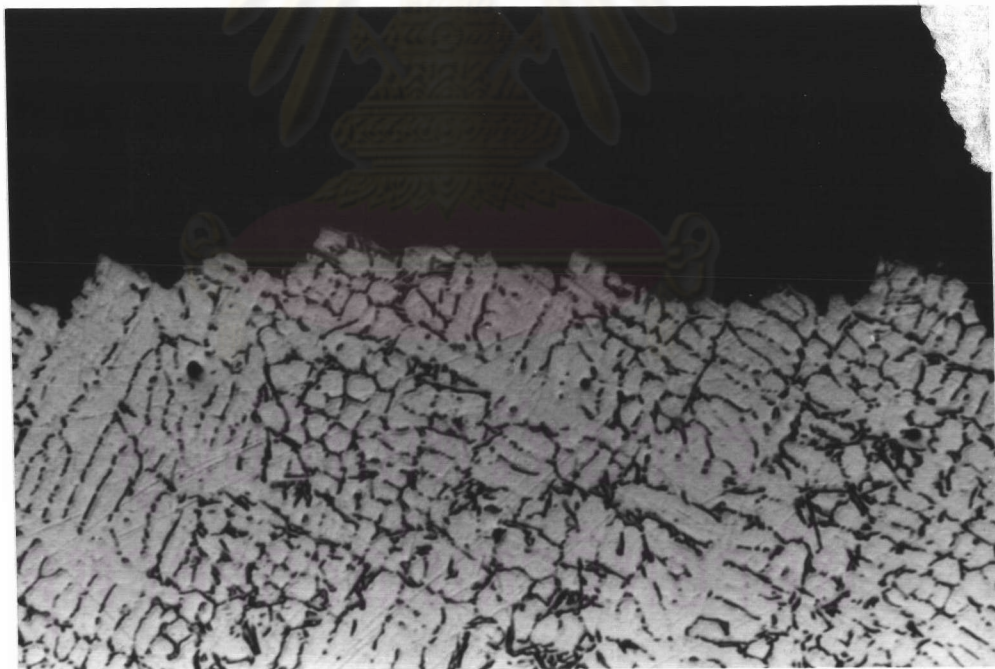


รูปที่ 5.19 บริเวณการเริ่มเกิดการแตกหักของอะลูมิเนียมผสม 10% ซิลิโคน ที่กำลังขยายสูงขึ้น

การเริ่มต้นการแตกหักเกิดที่รูพรุนอยู่ที่ผิวหรือใต้ผิวชั้นทดสอบมีสาเหตุสำคัญเป็นปกติในชั้นทดสอบทั้งหมดคือ ที่ผิวของชั้นทดสอบจะเกิดความเค้นดึงสูงสุดและเมื่อความเค้นดึงกล่าวมีปฏิกิริยาโดยตรงกับรูพรุนซึ่งมีลักษณะทางกายภาพคล้ายรอยบากบนชิ้นงานทำให้เกิดจุดรวมความเค้นรอบ ๆ รูพรุนนั้น ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้มีค่าสูงกว่าความเค้นคราก (Yield Strength) ของอะลูมิเนียมผสม ทำให้เกิดพฤติกรรมการแปรรูปถาวรเฉพาะที่ขึ้นตรงจุดรวมความเค้นรอบ ๆ รูพรุนดังกล่าว และเมื่อความเค้นกระทำซ้ำ ๆ กลับไปมาหลาย ๆ รอบ สะสมส่วนความเค้นจนมีค่าเกินกำลังประลัยของวัสดุในเฉพาะบริเวณนั้น ก็เกิดรอยแตกขนาดเล็กขึ้นและบางโอกาสมีมากกว่ารอยแตกเดียว เนื่องจาก รูปร่างขนาด ลักษณะผิวและกลุ่มของรูพรุนเหล่านั้น จึงพร้อมที่จะขยายเป็นรอยแตกเชื่อมโยงกันเป็นรอยร้าวขนาดใหญ่ต่อไปได้



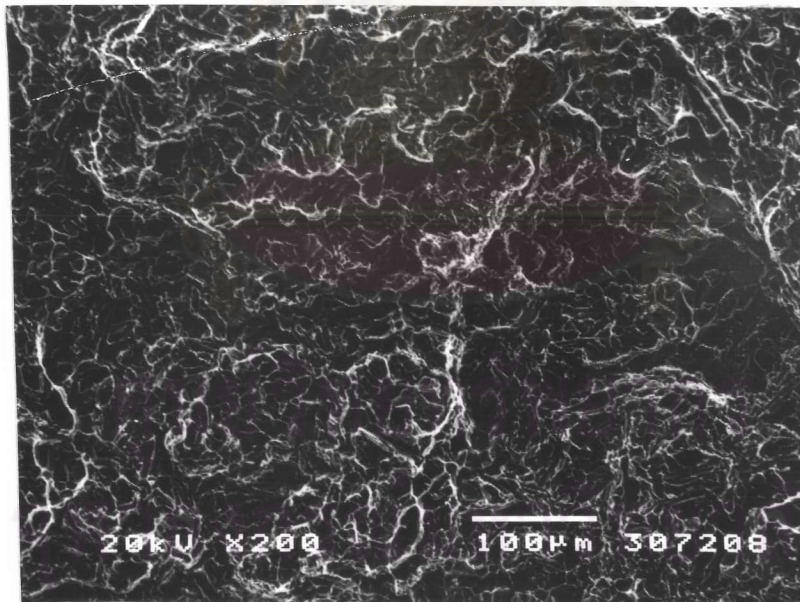
รูปที่ 5.21 โครงสร้างจุลภาคใต้ฟิวการแตกหักของอะลูมิเนียมผสมหล่อ 5% ซิลิกอน
กำลังขยาย 100 เท่า กัดด้วยสารละลายกรด 0.5% HF



รูปที่ 5.22 โครงสร้างจุลภาคใต้ฟิวการแตกหักของอะลูมิเนียมผสมหล่อ 7% ซิลิกอน
กำลังขยาย 100 เท่า กัดด้วยสารละลายกรด 0.5% HF



รูปที่ 5.23 โครงสร้างจุลภาคได้ผิวการแตกหักของอะลูมิเนียมผสมหล่อ 10% ซิลิกอน



รูปที่ 5.24 ลักษณะผิวการแตกหักขั้นสุดท้ายของอะลูมิเนียมผสมซิลิกอน

5.5.4 การแตกหักขั้นสุดท้าย

การแตกหักในขั้นสุดท้ายเกิดขึ้นจากพื้นที่ภาคตัดของชิ้นงานทดสอบที่คงเหลือจากการขยายตัวของรอยร้าวไม่สามารถรับภาระได้จึงเกิดการแตกหักทันที ลักษณะผิวของการแตกหักขั้นสุดท้ายของอะลูมิเนียมผสม 5 % 7% และ 10% ซิลิคอน มีลักษณะใกล้เคียงกัน กล่าวคือ ปรากฏการแปรรูปอยู่ทั่วไปซึ่งแสดงว่าอะลูมิเนียมผสมเกรด AC2B-F และ AC4B-F ถือได้ว่ามีความเหนียวดังแสดงในรูปที่ 5.24 อนึ่งสัดส่วนของอายุการล้าในขั้นตอนการแตกหักขั้นสุดท้ายมีน้อยจึงไม่มีผลต่ออายุการล้ามากนัก

จากการวิเคราะห์การแตกหัก สรุปได้ว่าการแตกหักเนื่องจากการล้าของอะลูมิเนียมผสมเกรด AC2B-F และ AC4B-F เริ่มกันการแตกหักจากรูพรุนที่ผิวของชิ้นทดสอบ การขยายตัวของรอยแตกนั้น มักผ่านเข้าไปในเฟส Si ซึ่งจะเป็นหลักฐานยืนยันว่าทำไมเมื่อปริมาณซิลิคอนมากขึ้นแล้วทำให้อายุการล้าลดลง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย