

รายการอ้างอิง

- [1] ณัฐวุฒิ ถมจอหอ. 2000. The WebPage Assisted Instruction for Aluminium [Computer file]. ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. แหล่งที่มา: <http://www.aluminiumlearning.com/อะลูมิเนียมหล่อผสม/> หน้า 71 [20 ส.ค. 2550]
- [2] ณัฐวุฒิ ถมจอหอ. 2000. The WebPage Assisted Instruction for Aluminium [Computer file]. ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. แหล่งที่มา: <http://www.aluminiumlearning.com/อะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นและอะลูมิเนียมขึ้นรูปเย็นผสม/> หน้า 2 [20 ส.ค. 2550]
- [3] Davis, J.R. Aluminum and Aluminum Alloys/ ASM Specialty Handbook. หน้า 3-5. United States of America. ASM International Materials Park. 1996.
- [4] Davis, J.R. Aluminum and Aluminum Alloys/ ASM Specialty Handbook. หน้า 59. United States of America. ASM International Materials Park. 1996.
- [5] ณัฐวุฒิ ถมจอหอ. 2000. The WebPage Assisted Instruction for Aluminium [Computer file]. ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. แหล่งที่มา: <http://www.aluminiumlearning.com/อะลูมิเนียมผสมสังกะสี7xxx/> หน้า 59 [20 ส.ค. 2550]
- [6] ณัฐวุฒิ ถมจอหอ. 2000. The WebPage Assisted Instruction for Aluminium [Computer file]. ภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. แหล่งที่มา: <http://www.aluminiumlearning.com/อะลูมิเนียมผสมสังกะสี7075/> หน้า 65 [20 ส.ค. 2550]
- [7] ศ.มนัส สติระจินดา. โลหะนอกกลุ่มเหล็ก. พิมพ์ครั้งที่ 4. สถานที่พิมพ์: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.
- [8] Nonferrous Casting Alloys. Aluminum and Aluminum Alloys. หน้า 743-746.
- [9] Taylor Lyman. Metal Handbook. Vol. 8, พิมพ์ครั้งที่ 8. Metallography Structures and Phase Diagrams, หน้า 386, 390, 397. สถานที่พิมพ์: American Society For Metals, 1973.
- [10] JIE DONG, JIANZHONG CUI, FUXIAO YU, CHUNYAN BAN, and ZHIHAO ZHAO. Effect of Low-Frequency Electromagnetic Casting on the Castability,

- Microstructure, and Tensile Properties of Direct-Chill Cast Al-Zn-Mg-Cu Alloy. Metallurgical and Materials Transactions A, 35A, August 2004: 2487-2494.
- [11] Yubo Zuo, Jianzhong Cui, Jie Dong and Fuxiao Yu. Effect of low frequency electromagnetic field on the constituents of a new super high strength aluminum alloy. Journal of Alloys and Compounds, 402, 2005: 149-155.
- [12] Zuo Yubo, Cui Jianzhong, Zhao Zhihao, Zhang Haitao and Qin Ke. Effect of low frequency electromagnetic field on casting crack during DC casting superhigh strength aluminum alloy ingots. Materials Science and Engineering, A 406, 2005: 286-292.
- [13] Yubo Zuo, Jianzhong Cui, Jie Dong and Fuxiao Yu. Effects of low frequency electromagnetic field on the as-cast microstructures and mechanical properties of superhigh strength aluminum alloy. Materials Science and Engineering, A408, 2005: 176-181.
- [14] Yubo Zuo, Hiromi Nagaumi, Fuxiao Yu and Jianzhong Cui. Study on the sump and temperature field during low frequency electromagnetic casting a superhigh strength Al-Zn-Mg-Cu alloy. Journal of Materials Processing Technology, 2007.
- [15] Yanxia li, Ping Li, Gang Zhao, Xiaotao Liu and Jianzhong Cui. The constituents in Al-10Zn-2.5Mg-2.5Cu aluminum alloy. Materials Science and Engineering, A397, 2005: 204-208.
- [16] Taylor Lyman. Metal Handbook. Vol. 8, พิมพ์ครั้งที่ 8. Metallography Structures and Phase Diagrams, หน้า 120-129. สถานที่พิมพ์: American Society For Metals, 1973.
- [17] ดร.อิทธิพล เดียววานิชย์. กล้องจุลทรรศน์ชนิดสะท้อนแสงสำหรับการตรวจวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคโลหะ, หน้า 18-20. กรุงเทพฯ: สถาบันเหล็กและเหล็กกล้าแห่งประเทศไทย, 2550.
- [18] William F. Smith. วัสดุวิศวกรรมเบื้องต้น. แปลโดย ชาตรี หลักทอง, สุมาลี วงศ์จันทร์ และ ประสงค์ ศรีเจริญชัย, เล่ม 1, หน้า 133-135. กรุงเทพฯ: แมคกรอ-ฮิล อินเทอร์เน็ตเนชั่นแนล เอ็นเตอร์ไพรส์ อิงค์, 1993.
- [19] Wagstaff. 2000. Wagstaff company. แหล่งที่มา : <http://www.wagstaff.com/products/directchill.html> [20 ส.ค. 2550]
- [20] Takateru Umeda. Microsegregation. The Minerals, Metal & Materials Society, 2001: 161-170.

- [21] Chandan Mondal and A.K. Mukhopadhyay. On the nature of T($\text{Al}_2\text{Mg}_3\text{Zn}_3$) and S(Al_2CuMg) phases present in as-cast and annealed 7055 aluminum alloy. *Materials Science and Engineering, A* 391, 2005: 367–376.
- [22] Xigang Fan, Daming Jiang, Qingchang Meng and Li Zhong. The microstructural evolution of an Al–Zn–Mg–Cu alloy during homogenization. *Materials Letters*, 60, 2006: 1475–1479.
- [23] Ervin E. Underwood. Quantitative Stereology, หน้า 18. Philippines: Addison-Wesley Publishing Company, 1970.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ตารางที่ ก.1 ตัวอย่างแสดงปริมาณธาตุผสมของโลหะอะลูมิเนียมผสมกลุ่ม 7xxx ที่นิยมอยู่ในปัจจุบัน

รหัส อะลูมิเนียม ผสม ประเภทขึ้น รูปเย็น	ปริมาณธาตุผสมแต่ละชนิด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
	ซิลิคอน (Si)	เหล็ก (Fe)	ทองแดง (Cu)	แมงกานีส (Mn)	แมกนีเซียม (Mg)	โครเมียม (Cr)	สังกะสี (Zn)
7001	0.35	0.40	1.6-2.6	0.20	2.6-3.4	0.18- 0.35	6.8-8.0
7003	0.30	0.35	0.20	0.30	0.5-1.00	0.20	5.0-6.5
7004	0.25	0.35	0.05	0.20-0.70	1.0-2.0	0.05	3.8-4.6
7005	0.35	0.40	0.10	0.20-0.70	1.0-1.8	0.06- 0.20	4.0-5.0
7008	0.10	0.10	0.05	0.05	0.7-1.4	0.12- 0.25	4.5-5.5
7108	0.10	0.10	0.05	0.05	0.7-1.4	-	4.5-5.5
7009	0.20	0.20	0.6-1.3	0.10	2.1-2.9	0.10- 0.25	5.5-5.6
7109	0.10	0.15	0.8-1.3	0.10	2.2-2.7	0.04- 0.08	5.8-6.5
7010	0.12	0.15	1.5-2.0	0.10	2.1-2.6	0.05	5.7-6.7
7011	0.15	0.20	0.05	0.10-0.30	1.0-1.6	0.05- 0.20	4.0-5.5
7012	0.15	0.25	0.8-1.2	0.08-0.15	1.8-2.2	0.04	5.8-6.5
7013	0.6	0.7	0.10	1.0-1.5	-	-	1.5-2.0
7014	0.5	0.5	0.30- 0.70	0.30-0.70	2.2-3.2	-	5.2-6.2
7015	0.20	0.30	0.06-	0.10	1.3-2.1	0.15	4.6-5.2

รหัส อะลูมิเนียม ผสม ประเภทขึ้น รูปเย็น	ปริมาณธาตุผสมแต่ละชนิด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
	ซิลิคอน (Si)	เหล็ก (Fe)	ทองแดง (Cu)	แมงกานีส (Mn)	แมกนีเซียม (Mg)	โครเมียม (Cr)	สังกะสี (Zn)
			0.15				
7016	0.10	0.12	0.45-1.0	0.03	0.8-1.4	-	4.0-5.0
7116	0.15	0.30	0.5-1.1	0.05	0.8-1.4	-	4.2-5.2
7017	0.35	0.45	0.20	0.50-0.5	2.0-3.0	0.35	4.0-5.2
7018	0.35	0.45	0.20	0.15-0.50	0.7-1.5	0.20	4.5-5.5
7019	0.35	0.45	0.20	0.15-0.50	1.5-2.5	0.20	3.5-4.5
7020	0.35	0.40	0.20	0.05-0.5	1.0-1.4	0.10- 0.35	4.0-5.0
7021	0.25	0.40	0.25	0.10	1.2-1.8	0.05	5.0-6.0
7022	0.50	0.50	0.5-1.0	0.1-0.4	2.6-3.7	0.1-0.3	4.3-5.2
7023	0.5	0.5	0.5-1.0	0.1-0.6	2.0-3.0	0.05- 0.35	4.0-6.0
7024	0.3	0.4	0.1	0.1-0.6	0.5-1.0	0.05- 0.35	3.0-5.0
7025	0.3	0.4	0.1	0.1-0.6	0.8-1.5	0.05- 0.35	3.0-5.0
7026	0.8	0.12	0.6-0.9	0.05-0.2	1.5-1.9	-	4.6- 5.2
7027	0.25	0.40	0.1-0.3	0.1-0.4	0.7-1.1	-	3.5- 4.5
7028	0.35	0.50	0.1-0.3	0.15-0.6	1.5-2.3	0.2	4.5- 5.2
7029	0.1	0.12	0.5-0.9	0.03	1.3-2.0	-	4.2- 5.2
7129	0.15	0.3	0.5-0.9	0.10	1.3-2.0	0.10	4.2-

รหัส อะลูมิเนียม ผสม ประเภทขั้น รูปเย็น	ปริมาณธาตุผสมแต่ละชนิด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
	ซิลิคอน (Si)	เหล็ก (Fe)	ทองแดง (Cu)	แมงกานีส (Mn)	แมกนีเซียม (Mg)	โครเมียม (Cr)	สังกะสี (Zn)
							5.2
7229	0.06	0.08	0.5-0.9	0.03	1.3-2.0	-	4.2- 5.2
7030	0.20	0.30	0.20- 0.40	0.05	1.0-1.5	0.04	4.8- 5.9
7039	0.30	0.40	0.10	0.1-0.4	2.3-3.3	0.15- 0.25	3.5- 4.5
7046	0.2	0.40	0.25	0.30	1.0-1.6	0.2	6.6- 7.6
7146	0.2	0.4	-	-	0.1-1.6	-	6.6- 7.6
7049	0.25	0.35	1.2-1.9	0.20	2.0-2.9	0.10- 0.22	7.2- 8.2
7149	0.15	0.20	1.2-1.9	0.20	2.0-2.9	0.10- 0.22	7.2- 8.2
7050	0.12	0.15	2.0-2.6	0.10	1.9-2.6	0.04	5.7- 6.7
7150	0.12	0.15	1.9-2.5	0.10	2.0-2.7	0.04	5.9- 6.9
7051	0.35	0.45	0.15	0.10-0.45	1.7-2.5	0.05- 0.25	3.0- 4.0
7060	0.15	0.20	1.8-2.6	0.2	1.3-2.1	0.15- 0.25	6.1- 7.5
7064	0.12	0.15	1.8-2.4	-	1.9-2.9	0.06- 0.25	6.8- 8.0
7072	(Si+Fe)	0.1	0.1	0.1	-	0.8-1.3	-

ตารางที่ ก.1 (ต่อ)

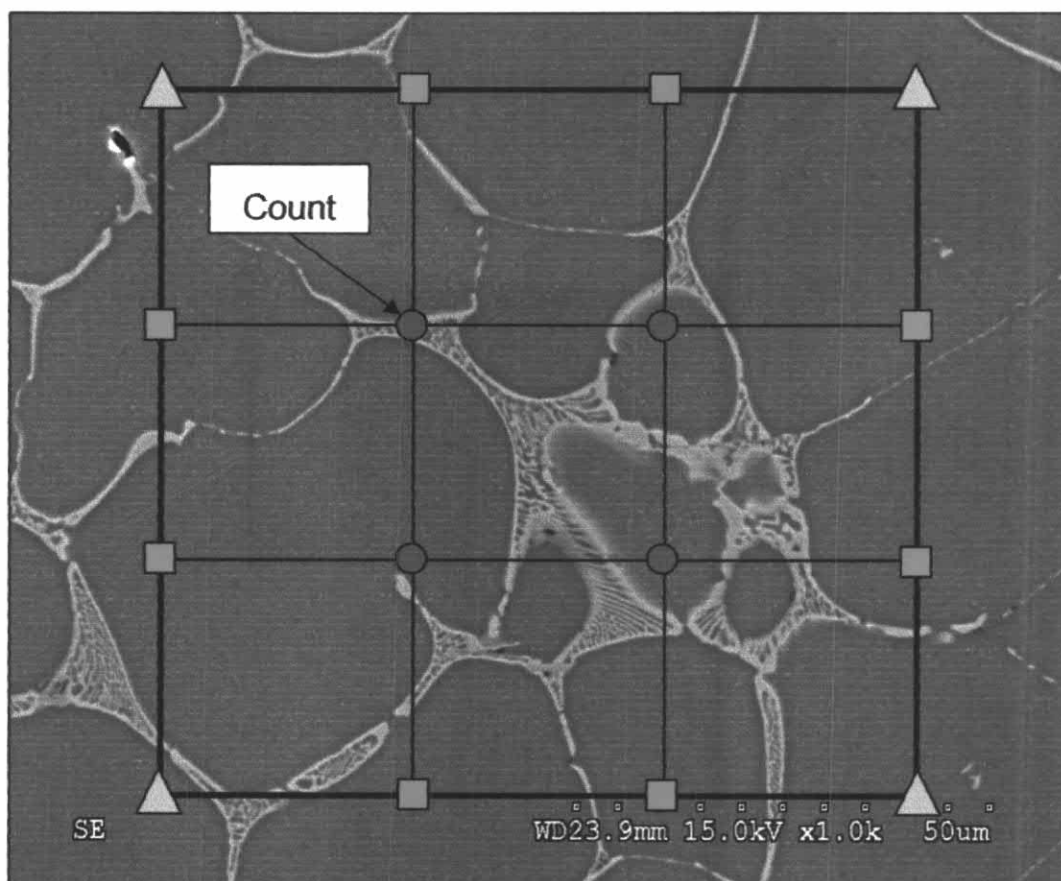
รหัส อะลูมิเนียม ผสม ประเภทขึ้น รูปเย็น	ปริมาณธาตุผสมแต่ละชนิด (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)						
	ซิลิคอน (Si)	เหล็ก (Fe)	ทองแดง (Cu)	แมงกานีส (Mn)	แมกนีเซียม (Mg)	โครเมียม (Cr)	สังกะสี (Zn)
	≤ 0.7)						
7278	0.15	0.20	1.6-2.2	0.02	2.5-3.2	0.17- 0.25	6.6- 7.4
7079	0.3	0.4	0.4-0.8	0.1-0.3	2.9-3.7	0.1-0.25	3.8- 4.8
7179	0.15	0.20	0.4-0.8	0.1-0.3	2.9-3.7	0.1-0.25	3.8- 4.8
7090	0.125	0.15	0.6-1.3	-	2.0-3.0	-	7.7- 8.7
7091	0.12	0.15	1.1-1.8	-	2.0-3.0	-	5.8- 7.1
7175	0.15	0.20	1.2-2.0	0.1	2.1-2.9	0.18- 0.28	5.1- 6.1
7475	0.10	0.12	1.2-1.9	0.06	1.9-2.6	0.18- 0.25	5.2- 6.2
7076	0.40	0.6	0.3-1.0	0.3-0.8	1.2-2.0	-	7.0- 8.0
7277	0.5	0.7	0.8-1.7	-	1.7-2.3	0.18- 0.35	3.7- 4.3
7178	0.4	0.5	1.6-2.4	0.3	2.4-3.1	0.18- 0.28	6.3- 7.3
7472	0.25	0.6	0.05	0.05	0.9-1.5	-	1.3- 1.9
7075	0.42	0.50	1.2-2.0	0.3	2.1-2.9	0.18- 0.28	5.1- 6.1

ตารางที่ ก.2 ตัวอย่างแสดงคุณสมบัติทางกลและลักษณะการใช้งานของโลหะอะลูมิเนียมผสมกลุ่ม 7xxx ที่นิยมอยู่ในปัจจุบัน

รหัส	ส่วนผสม	คุณสมบัติทางกลในค่าสูงสุด			การใช้งาน
		Tensile strength (MPa)	Yield strength (Mpa)	Elongation (%)	
7005	4.6Zn-1.4Mg – 0.5Mn-0.1Cr – 0.1Zr- 0.03Ti	641	483	16	ขอบรางรถไฟ, อุปกรณ์ยึด มุม, ตั๊กคอนเทนเนอร์, ไม้ เทนนิส, ไม้เบสบอล
7039	4Zn-2.8Mg – 0.2Mn-0.2Cr	450	400	12	ถังบรรจุสารเคมีประเภท สารอินทรีย์, ถังบรรจุอัด ความดัน, อุปกรณ์รถถัง โครงสร้างจรวดมิสไซล์
7049	7.6Zn-2.5Mg- 1.5Cu-0.15Cr	538	490	7	โครงสร้างเครื่องบิน, โครงสร้างจรวดมิสไซล์, เกี่ยวใช้ในการลงจอด
7050	6.2Zn-2.3Mg – 2.3Cu- 0.12Zr	510	496	12	โครงสร้างเครื่องบินที่ผ่าน การดึงขึ้นรูป (Extrusion) หรือการ Forgings
7075	5.6Zn-2.5Mg – 1.6Cu -0.23Cr	703	634	9	โครงสร้างเครื่องบิน
7076	7.5Zn-1.6Mg – 0.55Mn-0.65Cu	485	415	14	ใบพัดเครื่องบิน
7175	5.6Zn-2.5Mg – 1.6Cu-0.23Cr	593	524	11	โครงสร้างเครื่องบิน
7178	6.8Zn-2.7Mg – 2.0Cu -0.3Cr	440	420	15	โครงสร้างและในส่วนของ เครื่องบินหรือยานอวกาศ
7475	5.7Zn-2.3Mg- 1.5Cu-0.22Cr	683	600	10	ลำตัวเครื่อง, ปีกและผนัง เครื่องบิน

ภาคผนวก ข

วิธีการหาปริมาณยูเทคติกแบบ Point Counting

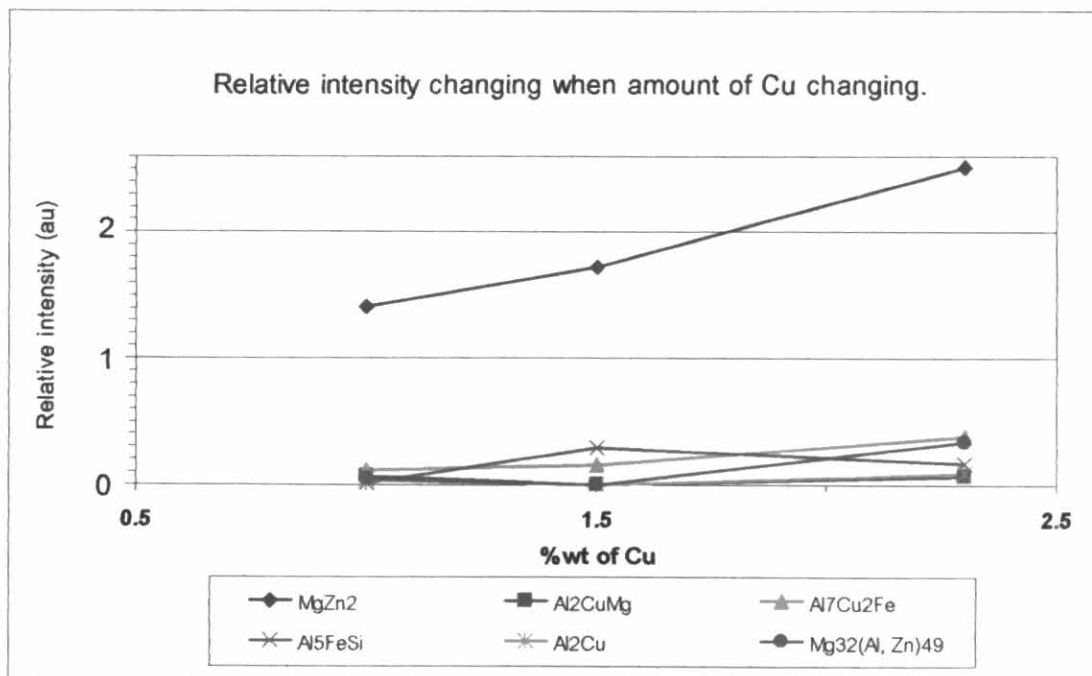


ภาพที่ ข.1 แสดงตัวอย่างการหาปริมาณยูเทคติกโดยวิธี Point Counting

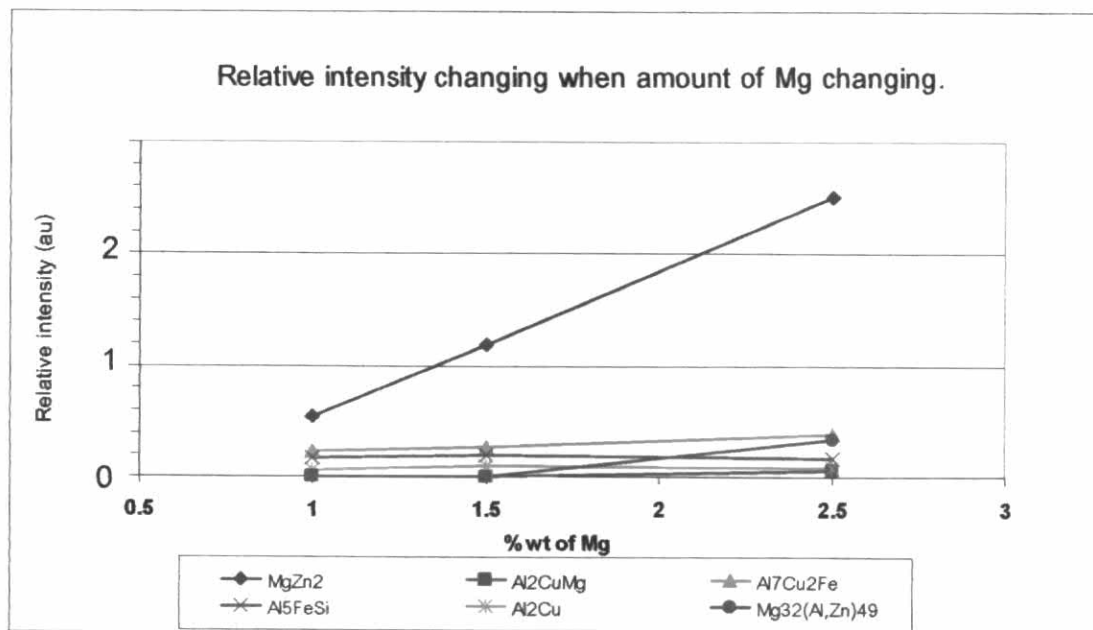
การหาปริมาณยูเทคติกโดยวิธี Quantitative analysis แบบ Point counting [23] ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาดเพื่อใช้กำลังขยายที่สูงในการวัดหาปริมาณยูเทคติก เนื่องจากโครงสร้างยูเทคติกมีขนาดเล็กมาก ดังภาพที่ ข.1 ซึ่งเป็นภาพที่ถ่ายที่กำลังขยาย 1000 เท่า ด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกวาด จะเห็นว่าขนาดโครงสร้างยูเทคติกมีขนาดเล็กมาก ดังภาพที่ ข.1 จึงจำเป็นต้องใช้กล้องที่กำลังขยายสูงในการศึกษาในการศึกษานี้ใช้กำลังขยาย 1000 เท่า ในการหาปริมาณยูเทคติก จากนั้นทำการสร้างสี่เหลี่ยมขนาด 4×4 ซม. จำนวน 3×3 ภาพ จะได้ตารางในการหาปริมาณยูเทคติก จากนั้น กำหนดจุดกลางเป็น 1 จุดขอบเป็น 0.5 และ จุดมุมเป็น 0.25 เมื่อโครงสร้างยูเทคติกตกอยู่ที่จุดใดก็ทำการคูณด้วยค่าของจุดนั้น จากนั้นทำการรวมแล้วหารด้วย 9 (เนื่องจากจุดทั้งหมดเมื่อรวมแล้วจะมีค่าเป็น 9) ในการศึกษาจะใช้วิธีทางสถิติเข้ามาช่วยเพื่อหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมในการสุ่มตัวอย่าง โดยการหาค่า Standard

deviation ซึ่งในการศึกษานี้ แต่ละชิ้นงานจะใช้ภาพตัวอย่างประมาณ 120 ภาพตัวอย่าง เพื่อหาค่าปริมาณยูเทคติก

ภาคผนวก ค



ภาพที่ ค.1 ความสัมพันธ์ของ Relative intensity ของสารประกอบแต่ละชนิดกับปริมาณของธาตุทองแดงที่เปลี่ยนแปลง



ภาพที่ ค.2 ความสัมพันธ์ของ Relative intensity ของสารประกอบแต่ละชนิดกับปริมาณของธาตุแมกนีเซียมที่เปลี่ยนแปลง

จากภาพที่ ค.1 และ ค.2 จะเห็นว่าสารประกอบหลักในโลหะผสมอะลูมิเนียมทั้ง 5 ส่วนผสมคือ $MgZn_2$ และพบว่าเมื่อปริมาณธาตุทองแดงหรือธาตุแมกนีเซียมเพิ่มมากขึ้นทำให้ Relative intensity จะมีค่าสูงขึ้น ซึ่งทั้งนี้ Relative intensity แปรผันตรงกับ Volume fraction ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า เมื่อปริมาณธาตุทองแดงหรือธาตุแมกนีเซียมเพิ่มมากขึ้นทำให้ Volume fraction ของสารประกอบ $MgZn_2$ มากขึ้นด้วย ส่วนสารประกอบอื่นจะเห็นว่าเมื่อปริมาณธาตุทองแดงหรือธาตุแมกนีเซียมเปลี่ยนแปลงมี Relative intensity เปลี่ยนแปลงไม่ต่างกันมากนัก

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

ชื่อ – นามสกุล	นางสาวแซชวัลย์ โก้สุโข
วัน – เดือน – ปีเกิด	28 ธันวาคม 2524
ที่อยู่	105 หมู่ 4 ถ.สกล-นาแก้ว อ.เมือง จ.สกลนคร 47230
วุฒิการศึกษา	ประถมศึกษาตอนต้น โรงเรียนอนุบาลสกลนคร ปี 2534 ประถมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนอนุบาลสกลนคร ปี 2537 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล ปี 2540 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนสกลราชวิทยานุกูล ปี 2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโลหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปี 2547
โทรศัพท์ติดต่อ	081-058-7404