

รายการอ้างอิง

1. Richard V. Carrano Improve Your Silver Casting. The Santa Fe Svm. On Jewellery Manufacturing Technology. 1997, pp.157-168.
2. Ernest A. Smith. Silver and its Industrial Alloys, Precious Metal and Application. N.A.G. Press London, 1978, p. 17.
3. มอก. ๒๑ – ๒๕๑๕ (UDC671.11), สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2515.
4. พัทธ์ชัย สุภบัณฑิตย์กุล. อุตสาหกรรมอัญมณีไทยเติบโตด้วยการปรับกลยุทธ์การผลิต. INDUSTRIAL TECHNOLOGY REVIEW 57 (พฤษภาคม 2542) : 54 -56.
5. Kubachewski O., Alcock C.B., and Spencer P.J. , Thermochemistry of Materials: 6th ed.,Pergamon Press, 1993, p. 149.
6. Dampas J.M. and Lockyer P.C. Oxygen Control in Liquid copper by the Oxycell. Met Trans.. Vol.3,1972, p.2597.
7. Diaz C.M., Masson C.R.and Richardson F.D. Electrochemical Determination of Oxygen in Liquid Silver. Trans. Instn Min. Metall.(Sect. C. Mining Process. Extr. Metall.).Vol.75,1966. pp. C183-185.
8. Parene Boulet, Hugues Pham and Maurice Rolin. Etud Thermogravimetric de la solubilité de l'oxygene dans l'argent fondu, Bulletin de la societe chimique De France. NO. 4, 1970, pp.1306-10.
9. Lawrence Addicks, Silver in Industry, Interatioanal Textbook Press, Scranton, PA, 1994, p. 398.
10. J.C. Chatson . Oxygen in Silver. Precious metal and Application. N.A.G. Press London, 1978, P.305-309.
11. Ernest A. Smith."Silver in Industrial Alloys", Precious Metal and Application. N.A.G. Press London, 1978, p 17.
12. Podgurski H.H. and Davis F.N. The Solubility of Oxygen in Silver and The Thermodynamics of the Internal Oxidation of a Silver-Copper Alloy. Trans TMS-AIME. Vol. 230, 1964, p. 731.

13. Diaz C.M. and Richardson F.D. Electrochemical Measurement of Oxygen in Molten Copper. Trans Instn Min. Metall. (Sect. C. Minering Process. ExtrMetall.), Vol.76, 1967, pp. C196-C203.
14. El-Naggar M.M.A. and Parlee N.A.d. The Free Energy of Solution of Oxygen in Liquid Copper by Solid Electrolyte Cell Technique. Met Trans. , Vol.1 ,1970, p 2975.
15. Parlee N.A.D. and Sacris E.M. Oxygen-Oxide Equilibria in Liquid Silver-copper Alloys. Trans. TMS-AIME. Vol. 239,1967, p 2005.
16. Fruhan R.J. and Richardson F.D. The Activities of Oxygen in Liquid Copper and Its Alloys with Silver and Tin. Trans TMS-AIME. Vol. 245,1969, p.1721.
17. Chitta R. Nunda and Gordon H. Geiger. The Kinetics of Deoxidation of Copper and Copper Alloys by Carbon Monoxide. Met Trans.. Vol. 2, 1971, p 1101.
18. Karl E. Oberg, Lawrence M. Friedman, William M. Boorstein, and Robert A. Rapp. Electrochemical Deoxidation of Induction-stirred Copper Melts. Met Trans.. Vol. 4, 1973, p 75.
19. Lupis H.P. and Elliott J.F. Oxygen-Alloying Element Interactions in Liquid Silver. Trans. TMS-AIME. Vol. 242, 1968, p 929.
20. El-Naggar M.M.A. and Parlee N.A.D. The Free Energy of Solution of Oxygen in Liquid Copper by Solid Electrolyte Cell Technique. Met Trans. , Vol. 1, 1970, p 2975.
21. Jacob K.T. and Jeffes J.H.E. Deoxidation of Liquid Copper: effect of Phosphorus on Oxygen Activity. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. C: Mineral Process. Etr. Metall.), Vol. 80, 1971, pp C181-C189.
22. Alan Hendry and Bell H.B. Thermodynamics of Liquid Copper-Silicon-Oxygen Alloys. Trans. Instn. Min. Metall. (Sect. C: Mineral Process. Etr. Metall.), Vol. 83, 1974, pp C10-C13.
23. Christopher Raub. Use of Silver in Jewelry. The Proceeding of The Santa Fe Symp on Jewelery Manufacturing Technology, 1989, pp. 241-256.
24. H. Royal. The Deposition of Novel Thin films of Binary Silver alloys and Oxides for Tarnish Resistance, The Proceeding of 4th on Santa Fe Symp of Jewelery Manufacturing and Technology, 1990. p. 37.

25. Lawrence Addicks, *Silver in Industry*, Interatioanal Textbook Press. Scranton, PA, 1994, p.399.
26. T.K. Vaiyanathan and A. Prasad. Precious Metal. R.O. Mc Gachie and A.G. Bradley ed., Pergamon Press, 1981, pp. 293-302.
27. Metal Europ, Resistance to Tarnishing of the Silver-Germanium and silver- copper-Germanium alloys, The Proceeding of The Santa Fe Symp of Jewelery Manufacturing and Technology. 1990. pp. 63-67.
28. Raukstraum G. and Agarwal D.P. Surface Finshing on color Measurements, The Proceeding of The Santa Fe Symp of Jewelery Manufacturing and Technology. 1990, pp. 147-163.
29. Raukstraum G. and Agarwal D.P. Color Technology for Jewelry Alloy Application, The Proceeding of The Santa Fe Symposium of Jewelery Manufacturing and Technology. 1988. pp. 229-244.

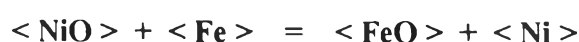
ภาคผนวก



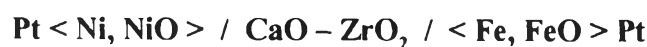
ภาคผนวก ก

หลักการวัดปริมาณออกซิเจนในน้ำโลหะโดยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี

ความสนใจในครั้งแรกของการนำมาสู่การพัฒนาเป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบใช้อิเล็กโตรไลต์เป็นแท่งเซรามิกนั้น เกิดจากการพบว่าการนำพาไอออนลบของออกซิเจนด้วยของแข็งในรูปของเซลล์ง่าย ๆ ที่สามารถเกิดปฏิกิริยาขึ้นได้ระหว่างขั้ว 2 ขั้ว โดยเริ่มจากเซลล์ดังต่อไปนี้



หรือ



จากนั้น ได้ทดลองใช้เซลล์อื่น ๆ อีกมากมายในการวัดออกซิเจนในน้ำโลหะ การค้นพบหลักการนี้มีสิ่งสำคัญที่สุดคือ ธรรมชาติของการนำไฟฟ้าของของแข็งจะสัมพันธ์กันกับ ความดันย่อยของออกซิเจนในบรรยากาศ และอุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับของแข็งในขณะนั้น โดยที่อุณหภูมิจะเกี่ยวข้องกับการรับถ่ายอิเล็กตรอนของระบบจนกลายเป็น Nernst ' s Equation ดังนี้

$$E_{\text{app}} = \frac{RT}{4F} \ln \left(\frac{P_{\text{O}_2}''}{P_{\text{O}_2}(t)} \right)$$

ผลการศึกษาด้านเซรามิกและด้านไฟฟ้าเกี่ยวกับการย้ายอะตอมของโลหะออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงอยู่เสมอ จึงได้นำออกไซด์ของแข็งมาใช้เป็นตัวกลางในการย้ายอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าสองขั้วที่มีความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ต่างกัน กลไกที่สำคัญคือ การเคลื่อนที่ของหลุม (Holes) และ ช่องว่าง (Valency) จนค้นพบว่า ZrO_2 Based Solid Oxide เป็นของแข็งที่นำไฟฟ้าได้น้อยที่สุด ค่าการเมียงเบนของข้อมูลจึงน้อยที่สุด ไม่หวั่นไหวง่ายเหมือนกับ ThO_2 Based Solid Oxide จึงเหมาะที่จะใช้กรณีที่มีปริมาณออกซิเจนสูง และ ThO_2 ก็เหมาะสมกับระบบที่มีออกซิเจนน้อย ในกรณีทั้งสองด้านของเซลล์มีความแตกต่างกันมากก็ควรใช้แบบผสม การเลือกใช้นอกจากขึ้นกับปริมาณออกซิเจนที่ต้องการวัดค่า แต่จะต้องพิจารณาไม่ให้เกิดวงจรกระแสลัดวงจร สามารถตรวจสอบกลับในหาค่าออกซิเจนในเซลล์อ้างอิง (Ref Electrode) ได้อย่างถูกต้อง

Solid Oxide Electrolyte cell

1. ขั้วรับอิเล็กตรอน(Cathode) เกิดสมการ $M + O_2^- = MO + 2e^-$
2. ขั้วสร้างอิเล็กตรอน หรือจ่ายอิเล็กตรอน(แอนโอด) เกิดสมการ $\frac{1}{2} O_2 + 2e^- = O^{2-}$

ค่าศักย์ไฟฟ้า หรือ ความสามารถในการย้ายอิเล็กตรอนของเซลล์โดยผ่านตัวนำที่มีความต้านทานไฟฟ้าสูงมากจะมีค่าเท่ากับค่า Gibb Free Energy ของระบบรวมสมการ



ดังนั้น

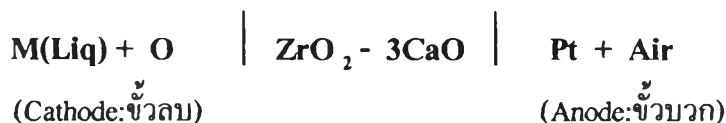
$$G = zFE \quad \text{เมื่อ } z \text{ เป็น Electron Number}$$

ระบบใดๆ ที่มีอุณหภูมิสูง จะใช้เซลล์ที่ต้านทานต่อไฟฟ้าสูงมาก จะไม่มีการย้ายอิเล็กตรอน วงจรจะปิด ปฏิกิริยาในเซลล์เกิดได้ช้ามาก จนกลายเป็นสมการ

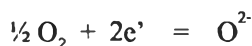
$$E = (RT / zF)$$

การพัฒนาสมการของ Nernst โดยจากรายงานของ Ramana Rayanan T.A. และ Rapp R.A.⁴⁶ เป็นการพยายามอธิบายการย้ายอิเล็กตรอนผ่านโลหะออกไซด์ดังนี้

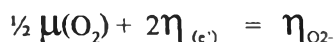
1. เซลล์



2. สมดุลออกซิเจนในระบบ ณ ตำแหน่งใดๆ ในอิเล็กโตรไลต์จะเกิดสมดุลของออกซิเจนดังนี้



3. ในขณะที่เดียวกันต้องเกิดสมดุลทางอ็อกซิเจนด้วย ดังนี้



$\mu(O_2)$ = Chemical Potential of Oxygen

η_i = Electrochemical Potential of i

$$\eta_i = \mu_i + z_i F \phi$$

z_i = Valency of i

ϕ = Local Electrical Potential

4. กระแสที่เกิดจากการไหลของอิออนของความดันออกซิเจนในอิเล็กโทรไลต์จะเป็น

$$I_{ion} = \sigma_{ion} * A / zF (\partial \eta_{O_2} / \partial x)$$

5. รวมสมการในข้อ 3 และข้อ 4 ได้ว่า

$$\frac{1}{2} d\mu(O_2) + 2d\eta_{(e^-)} = [2I_{ion} F / \sigma_{ion} * A] dx$$

6. อินทิเกรตข้อ 5 ที่ $x = 0$ ถึง L

$$\frac{1}{2} [d\mu(O_2)] + 2[d\eta_{(e^-)}] = 2I_{ion}(t) \Omega_{ion} F$$

เมื่อ $\Omega_{ion} = 1/A \int \{1/ \sigma_{ion}\} dx$

7. รวมสมการในข้อ 3 กับข้อ 5 เมื่อ $\eta_{(e^-)} = \eta_{(e^-)}$ (ภายในและภายนอกเท่ากัน) จะได้ว่า

$$\phi^- - \phi^+ = 1/4F [\mu^-(O_2) - \mu^-(O_2)(t)] - I_{ion}(t) \Omega_{ion} = E_{app}$$

8. เมื่อ $d \mu(O_2) = RT \ln P_{O_2} = [\mu^-(O_2) - \mu^-(O_2)(t)]$ ได้ว่า

$$RT/4F \ln(P_{O_2} / P_{O_2}(t)) - I_{ion}(t) \Omega_{ion} = E_{app}$$

9. แทนค่า I_{ion} ด้วย I_{ion} เมื่อ I_{ion} เป็นบวกออกซิเจนจะถูกปั๊มออกจากโลหะหลอมเหลว

จะต้องไม่เกิด Polarizing อื่นใดนอกจาก Concentration Polarizing ใน Metal Electrode

และ $I_{ion}(t) \Omega_{ion} \ll E_{app}$ ตลอดเวลาจะมีการปั๊มออกซิเจนอย่างคงที่ ณ ที่ Steady State ค่า $I_{ion} = 0$ ดังนั้นจะได้ว่า

$$E_{app} = RT/4F \ln(P_{O_2} / P_{O_2}(t))$$

ซึ่งปกติจะต้องให้สถานะค่าออกซิเจนเกิดสมดุลแบบ Steady State เท่านั้น หรือ เมื่อค่า cV คงที่ ก่อนจึงจะจุ่มวัดค่า cmf

ภาคผนวก ข

ทฤษฎีการวัดค่าสีของโลหะประกอบเครื่องประดับ

ในโลหะเครื่องประดับที่ทำด้วยโลหะทองผสมที่ผ่านมาโดยใช้คอมพิวเตอร์ เป็นการลดข้อสงสัย หรือความคลุมเครือ เนื่องจากไม่มีมาตรฐานของสี สำหรับโลหะผสมทั่วไป ลักษณะสีที่ปรากฏบนผิววัสดุใด ๆ จะปรากฏออกมานั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลัก 3 องค์ประกอบคือ

1. ที่มาของต้นแสงส่องสว่าง
2. ด้ววัตถุ ซึ่งไม่เกี่ยวกับรูปแบบของสี แต่เกี่ยวกับผิวที่สีนั้นปรากฏอยู่ การใช้กระจกสะท้อนแสงจะช่วยลดการเปลี่ยนแปลงของสีที่ผิววัตถุเปลี่ยนแปลงไปจากผิวหยาบเป็นผิวละเอียด
3. ผู้สังเกต และการรับรู้

มาตรฐานการอธิบายระบบสี มี 2 ระบบที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

1. Munshell system ใช้พิกัดแบบ 3 ค่าคือ

- Hue คือ ชื่ออธิบายเป็นคำๆ เช่น สีแดง สีดำ หมายถึง ...
- Chroma บอกความเข้มของสีโดยวัดแยกออกจากแกน ขาว – เทา – ดำ
- Value อธิบายตำแหน่งของ Scale ของ ขาว เทา ดำ

หมายเหตุ ระบบนี้ ผู้สังเกตต้องพิจารณาสีของวัตถุเทียบกับแฟ้มสีมาตรฐานที่ใกล้เคียงกันมากที่สุดแล้วเรียกสีของวัตถุนั้นตามสีที่ใกล้เคียงที่สุดนั้น

2. CIELAB System (The Committee of International on Illumination)

ระบบนี้จะใช้หลักการอธิบายเชิงคณิตศาสตร์ เป็นระบบที่นิยมมากที่สุด ในการใช้สีตรงกันข้ามอธิบายซึ่งเรียกว่าองค์ประกอบของสี ได้แก่ สีเขียว – แดง สีเหลือง – น้ำเงิน และสีขาว – ดำ โดยใช้หลักการมองเห็นของตามนุษย์เป็นพื้นฐาน เพราะตาจะมีเซลล์แบบ Cone เพียงอย่างเดียว จึงเห็นความแตกต่างระหว่างสีแดง กับสีเขียวได้ แต่ไม่สามารถมองเห็นได้พร้อมกัน ความหมายของค่าสีในระบบนี้คือ

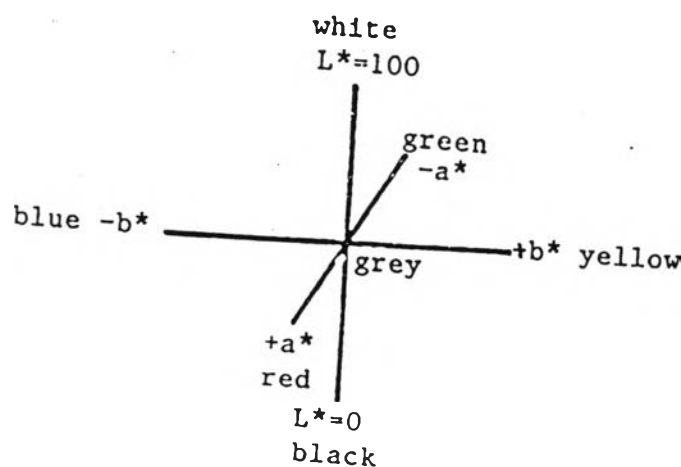


- L = Lightness , L = 0 (Black), L = 100 (White)
 - a = ค่าสีแดง - เขียว ถ้าสีแดงค่า a จะเป็นค่าบวกตั้งแต่ 0 - 100
สีเขียวค่า a จะเป็นค่าลบตั้งแต่ - 100 ถึง 0
 - b = ค่าสีเหลือง - น้ำเงิน ถ้าสีเหลืองค่า b จะเป็นค่าบวกตั้งแต่ 0 - 100
สีน้ำเงินค่า b จะเป็นค่าลบตั้งแต่ - 100 ถึง 0
- ตัวอย่างการวัดความแตกต่างของค่าสีที่วัดได้จากวัตถุ 2 ชิ้นดังนี้

$$DE^2 = (L2 - L1)^2 + (a2 - a1)^2 + (b2 - b1)^2$$

เมื่อ L1, a1, b1 คือค่าที่วัดได้จากวัตถุชิ้นแรก และ L2, a2, b2 คือค่าที่วัดได้จากวัตถุชิ้นที่สอง กรณีนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการวัดความแตกต่างของสีจากวัตถุเดียวกันแต่มีสีเปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากการหมองของโลหะทองผสม หรือจากสาเหตุอื่น

คุณภาพสีที่วัดได้ถูกต้องหรือไม่ขึ้นกับแสงที่กระทันจากวัตถุ และการใช้กระจกสะท้อนแสงช่วยเก็บแสงสะท้อนจากวัตถุในกรณีที่ผิวละเอียดได้กลับมาหมด ถ้าเป็นผิวหยาบจะสามารถวัดโดยไม่ใช้กระจกช่วยได้ ถ้า DE = 1 ไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงหรือความแตกต่างได้ แต่ถ้า DE = 4 จะสามารถเริ่มสังเกตเห็นด้วยสายตาได้



รูปที่ ๑.1 L* a* b* color space

ภาคผนวก ค

Quality Assurance Certificate of Calcium Silicon

P.S.STEEL CO.,LTD.

26/5 Mu 5, Putthabucha Road, Chomthong

Bangkok 10150

Tel 2166267,2169219-20 Fax 2159020

Date 09.06.97

QUALITY ASSURANCE CERTIFICATE

PRODUCT : CALCIUM SILICON

LOT NO. : AL 700725/06.06.40

ANALYSIS (AS RECEIVED)

CA 31.30 %

SI 61.20 %

C 0.34 %

AL 0.96 %

SIZE 20-50 MM

ภาคผนวก ง

ตาราง ง.1 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมในเฟสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ในชิ้นงานหล่อ

ตัวอย่าง	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	ธาตุ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	รวม	เฉลี่ย
0.10% CaSi2 เวลาหลอม 0 นาที	0.009	0.014	0.065	0.102	Si	0.207	0.167	0.047	0.178				0.599	0.14975
					Ca	0.087	0.088	0.086	0.078				0.339	0.08475
					Cu	21.02	24.788	92.856	79.834				218.298	54.5745
					Ag	78.589	74.911	6.996	20.188				180.684	45.171
0.20% CaSi2 เวลาหลอม 0 นาที	0.022	0.026	0.075	0.034	Si	0.495	0.736	0.869	1.835				3.935	0.98375
					Ca	0.333	0.189	0.228	0.096				0.846	0.2115
					Cu	19.754	65.843	30.582	77.821				194	48.5
					Ag	79.337	33.065	68.314	20.821				201.537	50.38425
0.20% CaSi2 เวลาหลอม 6 นาที	0.008	0.03	0.123	0.113	Si	0.077	0.078	0.078					0.233	0.57786667
					Ca	0.112	0.112	0.274					0.498	0.186
					Cu	2.949	3.768	3.08					9.797	3.26566667
					Ag	96.788	95.975	96.516					289.279	96.42633333
0.30% CaSi2 เวลาหลอม 0 นาที	0.018	0.033	0.075	0.107	Si	2.372	2.788	0.66					5.82	1.94
					Ca	0.088	0.091	0.073					0.252	0.084
					Cu	71.891	73.223	67.654					212.768	70.92266667
					Ag	25.621	23.989	31.69					81.2	27.06666667
0.30% CaSi2 เวลาหลอม 6 นาที	0.042	0.0069	0.057	0.309	Si	0.787	2.79	0.545					4.122	1.374
					Ca	0.111	0.095	0.104					0.31	0.1033333333
					Cu	25.185	69.616	24.997					119.798	39.93266667
					Ag	73.796	27.483	74.324					175.583	58.52766667
0.30% CaSi2 เวลาหลอม 6 นาที			0.078	0.273	Si	0.043	0.079	0.12	0.034	0.416			0.692	0.1384
					Ca	0.066	0.177	0.12	0.052	0.074			0.489	0.0978
					Cu	8.017	4.018	50.611	55.394	48.638			164.678	32.9358
					Ag	91.597	95.554	49.14	44.258	52.678			333.227	66.6454
0.30% CaSi2 เวลาหลอม 6 นาที	0.042	0.0069	0.24	0	Si	3.15	3.4	0.078					6.628	2.2093333333
					Ca			0.274					0.274	0.0913333333
					Cu	27.52	43.23	3.08					73.83	24.61
					Ag	66.72	52.96	96.516					216.196	72.06533333

ภาคผนวก ง

ตาราง ง.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสม ในเศษซากของจุลหัตถ์ของเหล็กดร้อน (SEM) ในขณะหล่อ

ตัวอย่าง	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	ธาตุ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	รวม	เฉลี่ย
0.30%					Si	2.371	2.788	0.66					5.82	1.94
CaSi2	0.018	0.033	0.075	0.107	Ca	0.088	0.091	0.073					0.252	0.084
เวลาหลอม					Cu	71.891	73.223	67.654					212.768	70.9226667
0 นาที					Ag	25.621	23.989	31.59					81.2	27.0666667
0.30%					Si	0.391	0.437	0.334					1.162	0.387333333
CaSi2	0.019	0.017	0.068	0.2	Ca	0.054	0.053	0.056					0.163	0.054333333
เวลาหลอม					Cu	67.974	73.786	55.771					197.531	65.8436667
3 นาที					Ag	31.454	25.625	43.597					100.676	33.5586667
0.30%					Si	0.787	2.79	0.545					4.122	1.374
CaSi2	0.042	0.0069	0.057	0.309	Ca	0.111	0.095	0.104					0.31	0.103333333
เวลาหลอม					Cu	25.185	69.616	24.997					119.798	39.9326667
6 นาที					Ag	73.796	27.463	74.324					175.583	58.5276667
0.30%					Si	0.043	0.079	0.12	0.034	0.416			0.692	0.1384
CaSi2			0.078	0.273	Ca	0.066	0.177	0.12	0.052	0.074			0.489	0.0978
เวลาหลอม					Cu	8.017	4.018	50.611	55.394	48.638			164.678	32.9356
6 นาที					Ag	91.597	95.554	49.14	44.258	52.678			333.227	66.6454
0.30%					Si	1.845	2.152	3.164	2.237				9.398	2.3495
CaSi2	0.039	0.0064	0.064	0.092	Ca	0.079	0.076	0.076	0.084				0.315	0.07875
เวลาหลอม					Cu	44.442	62.166	82.159	64.917				253.684	63.421
9 นาที					Ag	53.589	35.576	14.602	32.773				136.54	34.135
0.30%					Si	2.838	1.403	3.556	3.208				11.005	2.75125
CaSi2	0.03	0.0073	0.189	0.094	Ca	0.082	0.07	0.085	0.083				0.32	0.08
เวลาหลอม					Cu	60.224	63.644	72.873	71.517				268.258	67.0645
14 นาที					Ag	36.775	34.935	23.602	25.271				120.583	30.14575
0.30%					Si	0.426	0.419	0.384					1.229	0.409666667
CaSi2			0.079	0.113	Ca	0.113	0.112	0.111					0.336	0.112
เวลาหลอม					Cu	3.915	4.707	3.478					12.1	4.033333333
19 นาที					Ag	95.495	94.591	95.968					286.054	95.35133333

ภาคผนวก ง

ตาราง ง.3 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมในเฟสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ในชิ้นงานหล่อ

ตัวอย่าง	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	ธาตุ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	รวม	เฉลี่ย
0.50% CaSi2 เวลาหลอม 0 นาที	0.028	0.064	0.202	0.104	Si	2.557	3.781						6.318	3.159
					Ca	0.089	0.09					0.179	0.0895	
					Cu	85.559	90.239					175.798	87.899	
					Ag	11.73	5.878					17.608	8.803	
0.50% CaSi2 เวลาหลอม 3 นาที	0.019	0.046	0.065	0.257	Si	3.286	3.289	2.803	2.878				12.058	3.014
					Ca	0.09	0.09	0.099	0.104			0.383	0.09575	
					Cu	86.906	87.554	79.082	77.616			331.158	82.7895	
					Ag	9.559	9.059	17.83	19.533			55.981	13.99525	
0.50% CaSi2 เวลาหลอม 8 นาที	0.012	0.032	0.068	0.103	Si	0.133	1.346	1.558					3.035	1.01166667
					Ca	0.1	0.1	0.09				0.29	0.09888889	
					Cu	4.181	23.64	38.13				65.951	21.9836667	
					Ag	95.573	74.767	60.169				230.509	76.8363333	
0.50% CaSi2 เวลาหลอม 9 นาที	0.008	0.027	0.068	0.105	Si	0.038	0.069	0.053	1.28	3.093	1.616	3.517	9.666	1.32085714
					Ca	0.534	0.105	0.29	0.145	0.085	0.167	0.095	1.421	0.203
					Cu	6.659	4.453	3.991	53.709	77.546	39.671	73.603	259.632	37.0902857
					Ag	92.795	95.206	95.585	44.852	19.233	58.268	22.72	428.659	61.237
0.50% CaSi2 เวลาหลอม 14 นาที	0.0068	0.0312	0.068	0.102	Si	0.145	0.081	0.204	0.171	0.066			0.647	0.1284
					Ca	0.104	0.101	0.101	0.1	0.101			0.507	0.1014
					Cu	7.015	28.461	29.18	8.096	5.907			78.659	15.7318
					Ag	92.619	71.249	70.445	91.5	93.944			419.757	83.9514
0.50% CaSi2 เวลาหลอม 19 นาที			0.068	0.105	Si	0.408							0.408	0.408
					Ca	0.071							0.071	0.071
					Cu	7.145							7.145	7.145
					Ag	92.201							92.201	92.201

ภาคผนวก ง

ตาราง ง.4 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุผสมในเฟสด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) ในชิ้นงานหล่อ

ตัวอย่าง	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	ธาตุ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	จุดที่ 4	จุดที่ 5	จุดที่ 6	จุดที่ 7	รวม	เฉลี่ย	
0.75% CaSi ₂ เวลาหลอม 6 นาที	0.004	0.027			Si	5.769	3.433	4.174						13.376	4.45866667
					Ca	0.112	0.115	0.117					0.344	0.11466667	
					Cu	82.528	58.522	55.602					194.852	64.804	
					Ag	11.248	39.866	40.019					90.931	30.31033333	
1.00% CaSi ₂ เวลาหลอม 0 นาที	0.027	0.099			Si	5.331	3.921	4.348						13.6	4.533333333
					Ca	1.087	0.122	0.113					1.302	0.434	
					Cu	83.722	81.289	80.763					225.774	75.258	
					Ag	9.712	34.573	14.547					58.832	19.61066667	
1.00% CaSi ₂ เวลาหลอม 8 นาที	0.008	0.147			Si	5.477	4.228	3.433						13.138	4.37866667
					Ca	0.81	0.118	1.22					1.948	0.649333333	
					Cu	83.784	58.902	39.473					180.139	53.37866667	
					Ag	29.954	38.725	55.838					124.317	41.439	
1.00% CaSi ₂ เวลาหลอม 14 นาที			0.53	0.357	Si		9.018			8.83				17.848	8.924
					Ca		0.102		0.097				0.199	0.0995	
					Cu		70.919		77.788				148.707	74.3535	
					Ag		19.751		13.195				32.948	16.473	
3.00% CaSi ₂ เวลาหลอม 32 นาที			1.488	0.983	Si	15.888	12.844							28.532	14.266
					Ca	9.374	5.394						14.768	7.384	
					Cu	69.543	73.803						143.348	71.673	
					Ag	5.395	7.915						13.31	6.655	

ภาคผนวก จ

ตาราง จ.1 ผลการวัดค่าความแข็งและข้อมูลปริมาณซิลิคอน และแคลเซียมในโลหะจากการวิเคราะห์ด้วย AAS , EDX (เวลา 0 นาที)

% CaSi2(เดิม)	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	Hv
0	0.0023	-	-	-	67.3
0.1	0.009	0.014	0.065	0.102	69.66
0.2	0.022	0.026	0.075	0.034	66.83
0.3	0.028	0.062	0.075	0.107	69.09
0.5	0.028	0.064	0.202	0.104	62.22
0.75	0.015	0.117	-	-	62.3
1	0.027	0.099	-	-	65.2

ตาราง จ.2 ผลการวัดค่าความแข็งและข้อมูลปริมาณซิลิคอน และแคลเซียมในโลหะจากการวิเคราะห์ด้วย AAS , EDX (เวลา 6 นาที)

% CaSi2(เดิม)	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	Hv
0	-	-	0.199	0.092	-
0.1	0.008	0.033	-	0.184	71.99
0.2	0.008	0.03	0.123	0.113	71.3
0.3	0.042	0.0069	0.057	0.309	68.63
0.5	0.012	0.032	0.068	0.103	58.63
0.75	0.004	0.027	-	-	66.3
1	0.008	0.147	-	-	76.9

ตาราง จ.3 ผลการวัดค่าความแข็งและข้อมูลปริมาณซิลิคอน และแคลเซียมในโลหะจากการวิเคราะห์ด้วย AAS , EDX (0.30 % CaSi2)

เวลา	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	Hv
0	0.028	0.062	0.075	0.107	77.13
3	0.019	0.017	0.068	0.2	69.06
6	0.042	0.0069	0.057	0.309	68.63
9	0.039	0.0064	0.064	0.092	66.97
14	0.03	0.0073	0.189	0.094	63.76
19	-	-	0.079	0.113	-

ตาราง จ.4 ผลการวัดค่าความแข็งและข้อมูลปริมาณซิลิคอน และแคลเซียมในโลหะจากการวิเคราะห์ด้วย AAS , EDX (0.50 % CaSi2)

เวลา	% Si ในงานหล่อ	% Ca ในงานหล่อ	% Si (EDX)	% Ca (EDX)	Hv
0	0.028	0.064	0.202	0.104	62.2
3	0.019	0.046	0.065	0.257	63.1
6	0.012	0.032	0.068	0.103	58.63
9	0.008	0.027	0.068	0.105	59.33
14	0.0068	0.0312	0.068	0.102	64.7
19	-	-	0.068	0.105	-

ตาราง ฉ. 1 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชิ้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่าง ๆ
ที่เวลา 0 นาที หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 0.5 ชั่วโมง)

CaSi2	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	55.086	4.854	21.832	71.953333	-1.34	5.04	16.867333	6.194	16.792	24.593573
0.1	65.592	1.398	22.08	82.88	-1.3175	6.4075	17.288	2.7155	15.6725	23.492044
0.2	52.44	4.26	20.1	71	-1.3	5.2	18.56	5.56	14.9	24.44171
0.3	62.92	1.14	19.51	71.71	-1.325	5.1675	8.79	2.465	14.3425	17.001401
0.5	65.2	2.62	19.62	71.71	-1.325	5.1675	6.51	3.945	14.4525	16.334561
0.75	56.543333	0.1033333	16.38	69.37	-0.9967	4.49	12.826667	1.1000333	11.89	17.524427
1	65.64	0.95	16.254286	78.8525	-1.1075	5.185	13.2125	2.0575	11.069286	17.358933

ตาราง ฉ. 2 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชิ้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่าง ๆ
ที่เวลา 0 นาที หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 1.0 ชั่วโมง)

CaSi2	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	48.3	6.3	16.73	76.94	-1.29	1.29	28.64	7.59	15.44	33.410347
0.1	56.76	6.68	23.75	83.53	-1.25	6.07	26.77	7.93	17.68	33.046939
0.2	45.98	7.55	20.23	72.7	-1.55	5.48	26.72	9.1	14.75	31.848562
0.3	56.505714	5.4714286	20.951429	74.6	-1.05	4.79	18.094286	6.5214286	16.161429	25.122181
0.5	57.77	4.49	22.41	76.09	-1	4.02	18.32	5.49	18.39	26.532143
0.75	47.14	5.18	22	67.63	-1.042	5.656	20.49	6.222	16.344	26.938443
1	55.61	3.66	20.97	76.1	-0.88	4.84	20.49	4.54	16.13	26.46939

ตาราง จ. 3 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชั้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่าง ๆ
 ที่เวลา 0 นาที หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 2.0 ชั่วโมง)

CaSi2	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	42.02	11.26	9.44	73.22	-1.2415	5.2566	31.2	12.5015	4.1834	33.870759
0.1	39.98	2.81	-4.17	73.22	-1.2415	5.2566	33.24	4.0515	9.4266	34.787541
0.2	40.48	5.54	11.61	73.22	-1.2415	5.2566	32.74	6.7815	6.3534	34.033249
0.3	48.69	11.25	17.93	73.22	-1.2415	5.2566	24.53	12.4915	12.6734	30.304679
0.5	45.41	9.31	15.18	73.22	-1.2415	5.2566	27.81	10.5515	9.9234	31.356086
0.75	40.62	7.33	12.9	67.63	-1.042	5.656	27.01	8.372	7.244	29.190855
1	40.22	10.19	14.08	67.63	-1.042	5.656	27.41	11.232	8.424	30.796586

ตาราง จ. 4 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชั้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

ปริมาณ 0.3 wt% เวลาต่าง ๆ หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 0.5 ชั่วโมง)

เวลา	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	62.92	1.14	19.51	71.71	-1.325	5.1675	8.79	2.465	14.3425	17.001401
3	67.623333	-0.6183333	13.545	80.33	-1.39	5.6066	12.706667	0.7716667	7.9384	15.002435
6	66.48	-1.33	4.75	77.33	-1.27	5.28	10.85	0.06	0.53	10.863103
9	69.51	-0.87	11.99	80.33	-1.39	5.6066	10.82	0.52	6.3834	12.573408
14	70.77	-0.6	11.27	79.74	-1.1025	4.97	8.97	0.5025	6.3	10.972849

ตาราง จ. 5 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชั้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

ปริมาณ 0.3 wt% เวลาต่าง ๆ หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 1.0 ชั่วโมง)

เวลา	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	56.505714	5.4714286	20.951429	74.6	-1.05	4.79	18.094286	6.5214286	16.161429	25.122181
3	61.49	1.6	17.22	78.93	-1.36	5.34	17.44	2.96	11.88	21.30844
6	67.91	-0.59	12.18	77.337	-1.27	5.28	9.427	0.68	6.9	11.702168
9	53.68	2.58	20.56	67.63	-1.042	5.656	13.95	-3.622	-14.904	20.732839
14	62.647143	2.58	25.711429	71.71	-1.325	5.1675	9.0628571	-3.905	-20.543929	22.791169

ตาราง จ. 6 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชั้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

ปริมาณ 0.3 wt% เวลาต่าง ๆ หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 2.0 ชั่วโมง)

เวลา	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	48.69	11.25	17.93	73.22	-1.2415	5.2566	24.53	12.4915	12.6734	30.304679
3	46.34	9.25	12.26	71.71	-1.325	5.1675	25.37	-10.575	-7.0925	28.386107
6	47.53	5.36	17.87	70.41	-1.46	5.21	22.88	-6.82	-12.66	27.023738
9	47.57	9.12	12.79	71.71	-1.325	5.1675	24.14	-10.445	-7.6225	27.385035
14	46.18	13.61	11.81	70.41	-1.46	5.21	24.23	-15.07	-6.6	29.287502

ตาราง จ. 7 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชั้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

ปริมาณ 0.5 wt% เวลาต่าง ๆ หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 0.5 ชั่วโมง)

เวลา	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	65.2	2.62	19.62	71.71	-1.325	5.1675	6.51	3.945	14.4525	16.334561
3	61.13	0.15	13.86	79.02	-1.39	7.63	17.89	1.54	6.23	19.006225
6	57.612	3.622	20.058	69.27	-1.61	6.16	11.658	-5.232	-13.898	18.879544
9	51.89	1.3	21.7	69.27	-1.61	6.16	17.38	-2.91	-15.54	23.495193

ตาราง จ. 8 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชั้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

ปริมาณ 0.5 wt% เวลาต่าง ๆ หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 1.0 ชั่วโมง)

เวลา	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	57.77	4.49	22.41	76.09	-1	4.02	18.32	5.49	18.39	26.532143
3	53.5	1.78	13.13	79.02	-1.39	7.63	25.52	3.17	5.5	26.297705
6	54.66	3.41	23.55	76.5	-1.15	5.7	21.84	4.56	17.85	28.572744
9	49.72	6.37	22.42	71.71	-1.325	5.1675	21.99	-7.695	-17.2525	28.990031

ตาราง จ. 9 ค่าการเปลี่ยนแปลงของสีผิวชั้นงานหลังการทดสอบการหมองของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

ปริมาณ 0.5 wt% เวลาต่าง ๆ หลังการกวน (เวลาทดสอบการหมอง 2.0 ชั่วโมง)

เวลา	L1	a1	b1	L1	a1	b1	dL	da	db	DE
0	45.41	9.31	15.18	73.22	-1.2415	5.2566	27.81	10.5515	9.9234	31.356086
3	51.48	3.74	19.29	79.02	-1.39	7.63	27.54	5.13	11.66	30.343436
6	42.76	8.33	7.07	76.5	-1.15	5.7	33.74	9.48	1.37	35.073279
9	34.44	9.32	1.24	69.27	-1.61	6.16	34.83	10.93	4.92	36.834769

ภาคผนวก ข

ตารางข.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของซิลิคอน แคลเซียม และออกซิเจนในเงินสเตอร์ลิงหลังการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

% CaSi ₂	0 นาที			6 นาที		
	Si	Ca	O	Si	Ca	O
0	0.0023	-	0.02413	0.006	0.0050	
0.10	0.009	0.014	0.00128	0.008	0.0330	0.08236
0.20	0.022	0.026	0.0043	0.008	0.0300	0.00572
0.30	0.028	0.062	0.00138	0.042	0.0069	0.00114
0.50	0.028	0.064	0.00177	0.012	0.0320	0.00411
0.75	0.015	0.117	0.00134	0.004	0.0270	0.0013
1.00	0.027	0.099	0.00138	0.008	0.1470	0.00232

ตาราง ข.2 ผลการวิเคราะห์ปริมาณของซิลิคอน แคลเซียม และออกซิเจนในเงินสเตอร์ลิงหลังการเติมแคลเซียมซิลิไซด์

เวลา (นาที)	0.3 % CaSi ₂			0.5 % CaSi ₂		
	Si	Ca	O	Si	Ca	O
0	0.028	0.062	0.00138	0.0280	0.064	0.00177
3	0.019	0.0170	0.00542	0.0190	0.046	0.001825
6	0.042	0.0069	0.00237	0.0120	0.032	0.00349
9	0.039	0.0064	0.00122	0.0080	0.027	0.00241
14	0.030	0.0073	0.00189	0.0068	0.032	0.16157



ประวัติผู้เขียน

นายพรหมมิตร เจริญยิ่ง เกิดวันที่ 28 สิงหาคม 2514 ภูมิลำเนาเดิม หมู่บ้าน
ปงป่าหวาย อำเภอเด่นชัย จังหวัดแพร่ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรม
อุตสาหกรรม จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในปีการศึกษา 2536 ประสบการณ์การทำงาน
เป็นวิศวกรในบริษัท ไทยซีโนอุตสาหกรรม จำกัด ในตำแหน่งรองผู้ช่วยผู้จัดการแผนก
Modify and New Projects ประจำฝ่ายควบคุมการผลิต ระยะเวลาทำงานรวม 2 ปี เข้า
ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโลหการ ในเทอมต้น ปีการศึกษา 2539