

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ฎ
1 บทนำ	
1.1 อินาเมล	1
1.2 สมบัติของอินาเมล	1
1.2.1 โครงสร้างของอินาเมล	2
1.2.2 การขยายตัวเนื่องจากความร้อน	3
1.2.3 จุดอ่อนตัว	4
1.2.4 ความหนืดและแรงตึงผิว	4
1.3 ทฤษฎีการเกาะติดระหว่างโลหะกับอินาเมล	5
1.3.1 ทฤษฎีทางกล	9
1.3.2 ทฤษฎีทางเคมี	12
1.4 การเกิดฟองอากาศในผลิตภัณฑ์อินาเมล	15
1.5 โลหะที่ใช้งาน	16
1.5.1 ทองแดงและโลหะผสมของทองแดง	16
1.5.2 การยึดเกาะของแก้วอินาเมลกับโลหะทองแดง	17
1.6 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารอ้างอิง	20
1.7 วัตถุประสงค์การทดลอง	21

	หน้า
2 การทดลองและผลการทดลอง	
2.1 การเตรียมชิ้นงานอีนาเมลบนแผ่นโลหะทองแดง	23
2.2 การศึกษาการเกาะติดของอีนาเมลกับโลหะทองแดงด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	26
2.3 การศึกษาการเกาะติดของอีนาเมลกับโลหะทองแดงด้วยเอกซเรย์ฟลูออเรสเซนซ์	35
2.4 การศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์	48
2.4.1 ปัจจัยการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากชนิดของอีนาเมล	48
2.4.2 ปัจจัยการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากขนาดอนุภาคของอีนาเมล	52
2.4.3 ปัจจัยการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากรูปแบบแผ่นทองแดง	61
2.4.4 ปัจจัยการเกิดฟองอากาศและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากความหนาของแผ่นทองแดง	65
3 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	
3.1 ศึกษาผลการเกาะติดของแก้วอีนาเมลกับโลหะทองแดง	68
3.2 ศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อการเกาะติดไม่สมบูรณ์	
เช่น การปรากฏรอยแตก และการเกิดฟอง	70
3.2.1 ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากชนิดของเคลือบอีนาเมล	70
3.2.2 ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากขนาดอนุภาคของเคลือบอีนาเมล	71
3.2.3 ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากรูปแบบแผ่นทองแดง	72
3.2.4 ผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากชนิดของเคลือบอีนาเมล	73
เอกสารอ้างอิง	75

ภาคผนวก
ประวัติผู้เขียน

หน้า

77

78

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วย x-ray diffraction ของชั้นระหว่างเคลือบอีนาเมล หมายเลข A16, A26, A54 และA238 กับโลหะทองแดง	34
2.2 การประเมินผลการตรวจวัดจากสเปกตรัมของ XRF เปรียบเทียบระหว่าง เคลือบอีนาเมลดิบและชั้นระหว่างผิวเคลือบกับโลหะหลังเผาเมื่อใช้เคลือบ ชนิด A16, A26, A54 และA238	46
2.3 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตก ของชนิดอีนาเมลที่ปัญหาบ่งชี้เทียบกับอีนาเมลชนิดอื่น	50
2.4 การกระจายขนาดอนุภาคของผงอีนาเมลหมายเลข A43 เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อระยะเวลาที่ใช้บดผงอีนาเมลแตกต่างกัน	54
2.5 การกระจายขนาดอนุภาคของผงอีนาเมลหมายเลข A54 เป็นร้อยละโดยน้ำหนัก เมื่อระยะเวลาที่ใช้บดผงอีนาเมลแตกต่างกัน	55
2.6 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศของผงอีนาเมล หมายเลขA43และผงอีนาเมลหมายเลขA54กับระยะเวลาที่ใช้บดผงอีนาเมล	60
2.7 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตกของอีนาเมล หมายเลขA16เมื่อรูปแบบของแผ่นทองแดงแตกต่างกัน	62
2.8 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตกของอีนาเมล หมายเลขF35เมื่อรูปแบบของแผ่นทองแดงแตกต่างกัน	63
2.9 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตกของอีนาเมล หมายเลขA55เมื่อรูปแบบของแผ่นทองแดงแตกต่างกัน	64
2.10 การเปรียบเทียบร้อยละของจำนวนชิ้นงานที่พบฟองอากาศและรอยแตกของอีนาเมล บางชนิด เมื่อความหนาของแผ่นทองแดงแตกต่างกัน	66

ตาราง

หน้า

ผ.1	ค่าที่ได้จาก X-ray pattern ของ CuO	77
ผ.1	ค่าที่ได้จาก X-ray pattern ของ Cu ₂ O	77

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรกับอุณหภูมิที่แตกต่างกันของแก้วและของแข็งที่เป็นผลึก	2
1.2 โครงสร้างผลึกและโครงสร้างแก้ว	3
1.3 ผลของออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศกับมุมที่สัมผัสระหว่างเหล็กกับแก้วซึ่งเผาที่ $1,300^{\circ}\text{C}$	8
1.4 ผิวระหว่างโลหะกับแก้วที่สนับสนุนพันธะทางกล	11
1.5 ไอโซแกรมของเหล็กที่เป็นสมมุติฐานมีผลกับระยะทางการแทรกซึมระหว่างผิวของโลหะแก้วที่สัมผัสกัน โดยมีเหล็กเฟอร์ไรต์ออกไซด์และแก้วเข้ามาสัมพันธ์กัน	12
1.6 การจัดเรียงของพันธะในชั้นอินามาเลกับโลหะทองแดง	18
1.7 การเกิด interatomic bonding ระหว่างเคลือบแก้วกับโลหะทองแดง	19
1.8 การทำลายผิวของโลหะขณะเผาภายใต้ชั้นของอินามาเล	19
2.1 แผนภาพการเตรียมอินามาเลบนแผ่นทองแดงเมื่อนำไปศึกษาการเกาะติด	25
2.2 แผนภาพการเตรียมชั้นระหว่างเคลือบอินามาเลกับทองแดงสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเอกซเรย์ดิฟแฟรกชัน	28
2.3 X-ray diffraction pattern ของชั้นระหว่างเคลือบอินามาเลหมายเลข A16 กับโลหะทองแดง	29
2.4 X-ray diffraction pattern ของชั้นระหว่างเคลือบอินามาเลหมายเลข A 26 กับโลหะทองแดง	30
2.5 X-ray diffraction pattern ของชั้นระหว่างเคลือบอินามาเลหมายเลข A54 กับโลหะทองแดง	31
2.6 X-ray diffraction pattern ของชั้นระหว่างเคลือบอินามาเลหมายเลข A238 กับโลหะทองแดง	32

รูป	หน้า
2.7 X-ray diffraction pattern ของ CuO	33
2.8 แผนการเตรียมเคลือบอีนาเมลดิบของโรงงานสำหรับวิเคราะห์ด้วย XRF	36
2.9 X-ray fluorescence spectrum ของเคลือบอีนาเมลหมายเลข A16 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	37
2.10 X-ray fluorescence spectrum ของเคลือบอีนาเมลหมายเลข A26 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	38
2.11 X-ray fluorescence spectrum ของเคลือบอีนาเมลหมายเลข A54 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	39
2.12 X-ray fluorescence spectrum ของเคลือบอีนาเมลหมายเลข A238 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	40
2.13 แผนภาพการเตรียมชั้น interlayer ของเคลือบอีนาเมลกับโลหะทองแดง สำหรับวิเคราะห์ด้วย XRF	41
2.14 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayerเคลือบอีนาเมลหมายเลข A16 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	42
2.15 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayerเคลือบอีนาเมลหมายเลข A26 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	43
2.16 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayerเคลือบอีนาเมลหมายเลข A54 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	44
2.17 X-ray fluorescence spectrum ของชั้น interlayerเคลือบอีนาเมลหมายเลข A238 จากการกระตุ้นด้วยต้นกำเนิด Pu238	45
2.18 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองและการปรากฏรอยแตกเนื่องจาก ชนิดของอีนาเมล	49
2.19 แผนภาพการ การหาการกระจายขนาดของอนุภาคของผงอีนาเมล ที่พร้อมใช้งานเมื่อเวลาบดแตกต่างกัน	53
2.20 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของอีนาเมลหมายเลข A43 เมื่อใช้เวลา บดแตกต่างกัน	56

รูป	หน้า
2.20 กราฟการกระจายขนาดอนุภาคของอีนาเมลหมายเลข A54 เมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบดแตกต่างกัน	57
2.22 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากขนาดอนุภาคของอีนาเมลอย่างคร่าวๆ	58
2.23 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากขนาดอนุภาคของอีนาเมล	59
2.24 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากรูปแบบแผ่นโลหะทองแดง	61
2.25 แผนภาพการศึกษาการเกิดฟองและการปรากฏรอยแตกเนื่องจากความหนาของแผ่นทองแดงไม่เท่ากัน	65