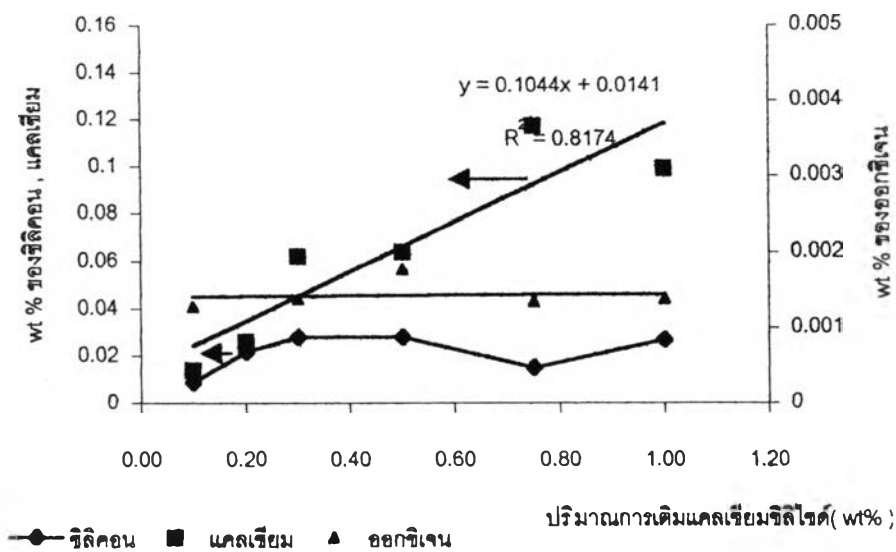


บทที่ 4

ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

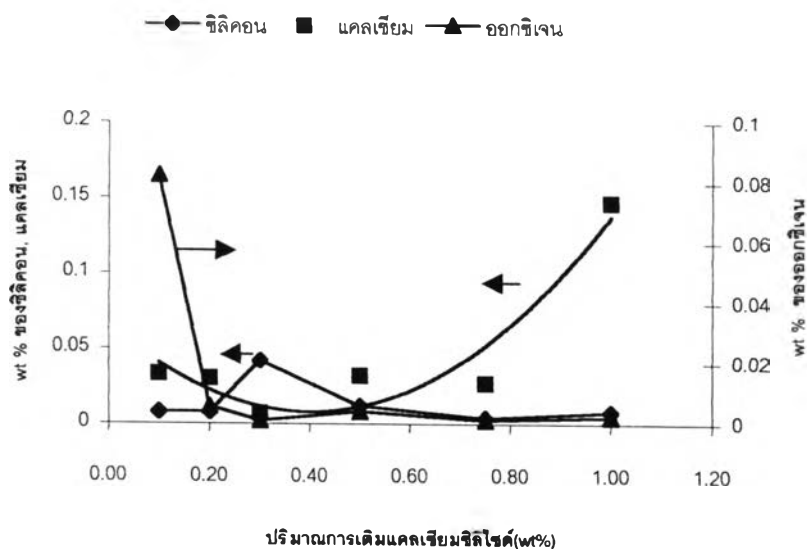
4.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณซิลิคอน และแคลเซียมในเงินสเตอร์ลิง

ผลการวิเคราะห์ส่วนผสมทางเคมีของงานหล่อโลหะเงินสเตอร์ลิงในสภาพของแข็งหลังจากผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ในขณะหลอมเหลวที่ 1100 °C ในอัตราส่วนร้อยละ 0.1 – 1.0 ของน้ำหนักรวมที่เวลา 0 นาทีหลังการกวนเป็นไปดังรูปที่ 4.1 ซึ่ง พบว่า เมื่อเติมแคลเซียมซิลิไซด์มากขึ้นการละลายของธาตุแคลเซียมจะเพิ่มขึ้นในช่วงการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.1 – 1.0 % ส่วนปริมาณของซิลิคอนจะเพิ่มขึ้นในลักษณะเป็นเส้นตรงในช่วงการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.1 – 0.30 % เมื่อปริมาณของแคลเซียมซิลิไซด์เกิน 0.30 % ปริมาณซิลิคอนที่วิเคราะห์ได้จะมีแนวโน้มเกือบคงที่ แสดงว่าที่เวลา 0 วินาทีหลังการกวน ถ้าเติมแคลเซียมซิลิไซด์มากกว่า 0.3 % จะไม่สามารถทำให้ซิลิคอนละลายได้มากขึ้นกว่าการเติม 0.3 % CaSi_2



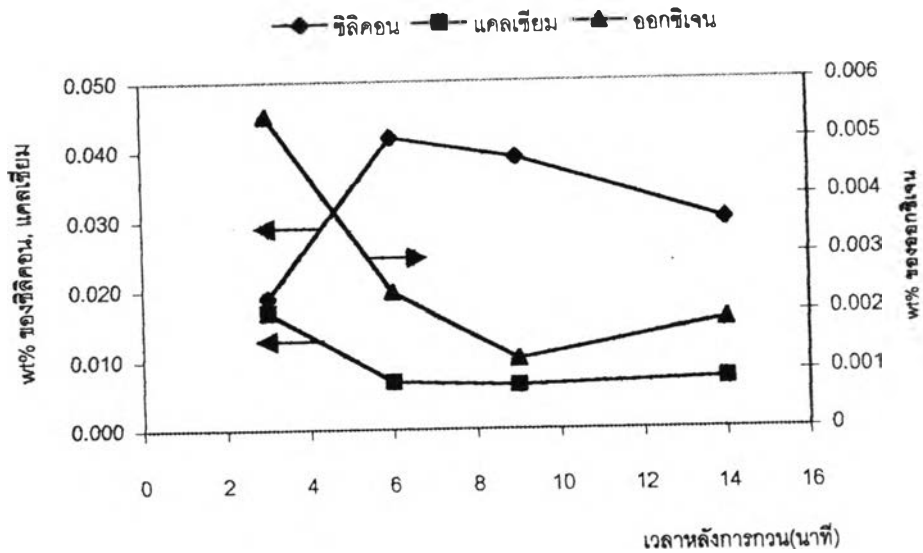
รูปที่ 4.1 กราฟแสดงปริมาณการละลายของธาตุซิลิคอน , แคลเซียมและออกซิเจนในงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่างๆ และทำการหล่อ ณ เวลา 0 นาทีหลังการกวน

เมื่อทดลองโดยทำการหล่อที่เวลาหลังการกวนเพิ่มขึ้นเป็น 6 นาที พบว่าการละลายของแคลเซียมและซิลิกอนจะแตกต่างจาก 0 นาที โดยในช่วงการเติม 0.1 – 0.30 % ปริมาณซิลิกอนจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ ในขณะที่การละลายของแคลเซียมจะมีปริมาณลดลงตามปริมาณการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ และเมื่อปริมาณการเติม 0.30 % - 1.0 % การละลายของแคลเซียมกลับเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ ส่วนการละลายของซิลิกอนกลับมีแนวโน้มลดลง เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการละลายของซิลิกอนที่ละลายในงานหล่อที่ทำการหล่อโดยใช้เวลา 0 นาทีหลังการกวน พบว่า ปริมาณซิลิกอนในงานหล่อที่ใช้เวลา 6 นาทีหลังการกวนจะต่ำกว่าการใช้เวลา 0 นาทีหลังการกวน ยกเว้นกรณีการเติมด้วย 0.3 % แคลเซียมซิลิไซด์ซึ่งการละลายของซิลิกอนจะมากขึ้น ซึ่งจากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าที่ 0.3 % CaSi_2 จะเกิดการละลายของซิลิกอนสูงสุดและแคลเซียมต่ำสุดการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ที่ 0.3 % นี้ จึงมีความน่าสนใจมากขึ้น จากรูปที่ 4.1 ที่ปริมาณการละลายของซิลิกอนเริ่มจะคงที่ที่ปริมาณการเติมตั้งแต่ 0.3 % ขึ้นไป

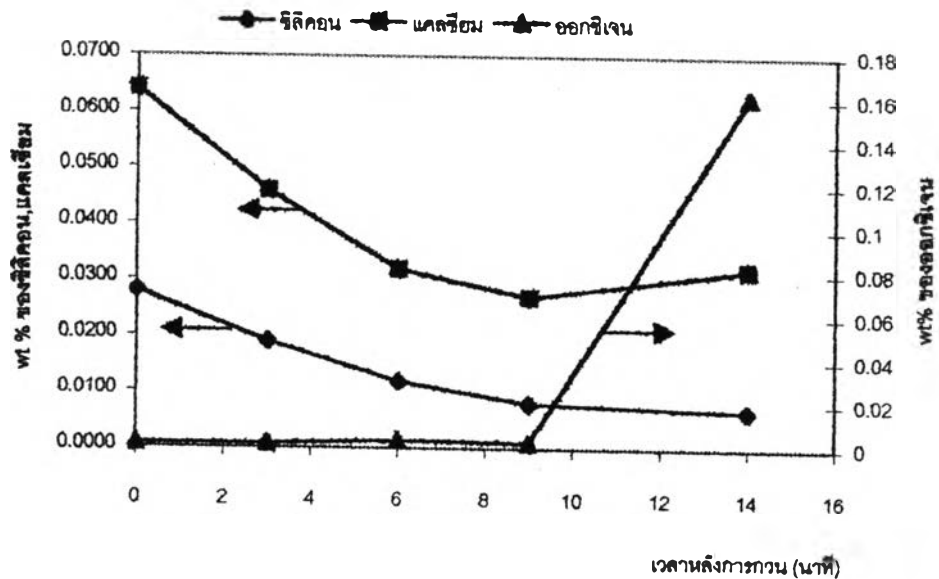


รูปที่ 4.2 กราฟแสดงปริมาณการละลายของธาตุซิลิกอน , แคลเซียมและออกซิเจน ในงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ในปริมาณต่างๆ กันและทำการหล่อ ณ เวลา 6 นาทีหลังการกวน

ผลของเวลาหลังการกวนต่อการละลายของธาตุผสมเป็นไปดังรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า หลังการเติม 0.30 % แคลเซียมซิลิไซด์ ปริมาณแคลเซียมที่วิเคราะห์ได้จะลดลงอย่างรวดเร็วตามเวลาที่เพิ่มขึ้นจนถึง 6 นาทีและเมื่อเวลาที่ใช้เกิน 6 นาที ปริมาณแคลเซียมจะมีแนวโน้มคงที่ ในขณะที่ซิลิกอนจะละลายเพิ่มขึ้นในช่วง 6 นาทีแรก หลังจากนั้นจะค่อยๆ ลดลงเมื่อเวลาเกิน 6 นาที



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงการละลายของซีลีคอน, แคลเซียมและออกซิเจนในงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่เติม 0.3 % แคลเซียมซลิไซด์ที่ เวลาต่างๆหลังการกวน



รูปที่ 4.4 การละลายของซีลีคอน, แคลเซียมและออกซิเจนในเงินสเตอร์ลิงที่แข็งตัวหลัง จากการเติม ด้วย 0.5% CaSi₂ ที่เวลาต่างๆหลังการกวน

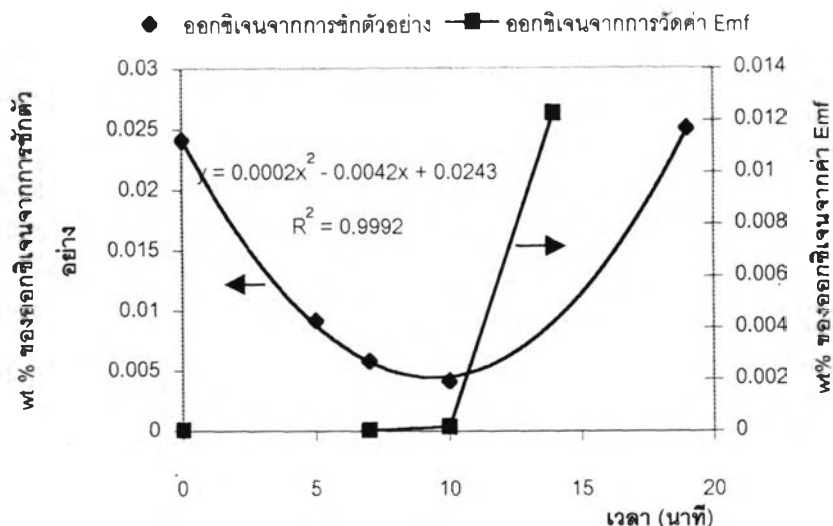
จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงการละลายของซีลีคอน, แคลเซียม และออกซิเจนเวลาต่าง ๆ ภาย หลังการเติมแคลเซียมซลิไซด์ 0.5 % ทั้งซีลีคอน และแคลเซียมจะลดลงในช่วง 6 นาทีแรก หลังจากนั้นจะมีแนวโน้มคงที่

เมื่อพิจารณาการลดลงของแคลเซียมและซิลิกอนเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นจากรูปที่ 4.3-4.4 เปรียบเทียบกับปริมาณออกซิเจนที่เวลาต่าง ๆ จะพบว่าออกซิเจนจะลดลงในช่วงที่มีการลดลงของแคลเซียม และซิลิกอนแสดงว่าเป็นผลจากการเกิดออกไซด์ของซิลิกอนและแคลเซียมในน้ำโลหะ ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณการลดลงของซิลิกอนจะลดลงค่อนข้างช้ากว่าก่อนที่จะคงที่และยังพบว่าภายหลังจากซิลิกอนและแคลเซียมมีแนวโน้มค่อนข้างคงที่แล้ว จะพบการเพิ่มของปริมาณออกซิเจน แสดงว่าการที่ออกซิเจนคงที่ได้นั้นเป็นผลจากอิทธิพลของซิลิกอนและแคลเซียม การเกิดออกไซด์จึงยังคงเกิดขึ้นจนกระทั่งธาตุผสมละลายเหลืออยู่น้อยลงจึงจะเกิดการละลายกลับของออกซิเจนขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนปริมาณที่หลงเหลือต่ำสุดของธาตุซิลิกอนผสมนี้จะอยู่ในรูปของสารละลายของแข็งระหว่างธาตุผสมกับเงินหรือทองแดง ส่วนแคลเซียมน่าจะเกิดเป็นสารประกอบเชิงโลหะกับเงินหรือทองแดง

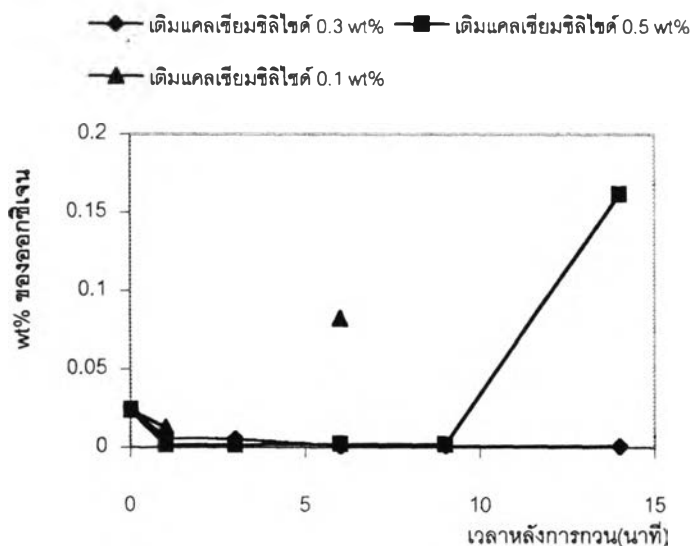
4.2 การวัดปริมาณออกซิเจนในเงินสเตอร์ลิง

ผลการวิเคราะห์ปริมาณของออกซิเจนในเงินสเตอร์ลิงที่ไม่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ในสภาพของแข็งที่ได้จากการชั่งตัวอย่างที่ 1100 °C ความดันคงที่ 1 บรรยากาศ จะมีลักษณะลดลงในช่วง 10 นาทีแรกซึ่งจะลดลงจนถึงค่าต่ำสุดหลังจากนั้นออกซิเจนในเงินสเตอร์ลิงจะเพิ่มขึ้นที่เวลามากกว่า 10 นาที ดังรูปที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการละลายของออกซิเจนที่ได้จากการวัดค่า Emf ด้วยเครื่องวัดระดับออกซิเจนในโลหะหลอมเหลวที่เวลาเดียวกับการชั่งตัวอย่าง พบว่า ช่วง 7 นาทีแรกปริมาณออกซิเจนจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย แล้วกลับละลายเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งพบว่าจะมีแนวโน้มลักษณะที่คล้ายกับออกซิเจนที่ได้จากการชั่งตัวอย่าง

ช่วงแรกของการลดลงของออกซิเจนเกิดเนื่องจากเมื่อเงิน และทองแดงสามารถละลายออกซิเจนได้เป็นจำนวนมาก แต่การเกิดออกไซด์ของทองแดงยังไม่สมบูรณ์ ต้องใช้เวลาอยู่ช่วงหนึ่งซึ่งเป็นผลให้ช่วงนี้มีการลดลงของออกซิเจนในโลหะหลอมเหลว เกิดออกไซด์ของทองแดงมากขึ้น ค่าออกซิเจนจะลดลง จากนั้นจะเกิดการละลายของออกซิเจนกลับสู่โลหะหลอมเหลวอีกครั้งหนึ่ง เนื่องจากโลหะหลอมเหลวยังมีความสามารถในการดูดซับออกซิเจน ข้อสังเกตที่พบขณะทำการหลอมคือเมื่อใช้เวลาหลอมมากขึ้น โลหะหลอมเหลวจะเกิดการเดือดหรือการกระเพื่อมการละลายอย่างรุนแรงขึ้น ซึ่งพบว่า จะเกิดการละลายของออกซิเจนสูงมาก



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงปริมาณออกซิเจนที่ละลายในเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ จากการสักรัดตัวอย่าง (สภาพของแข็ง) และการวัดค่า Emf (ในสภาพของเหลว) ที่เวลาต่าง ๆ นับตั้งแต่อุณหภูมิเริ่มคงที่ 1100 C

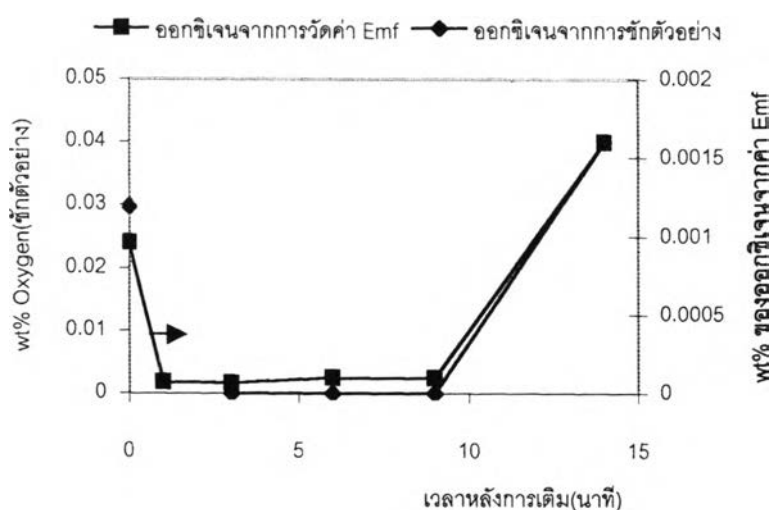


รูปที่ 4.6 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในงานหล่อเงินสเตอร์ลิงในสภาพงานหล่อหลังจากที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.1,0.3,0.5 wt% ที่เวลาต่าง ๆ หลังการร่วน

จากรูปที่ 4.6 ภายหลังจากที่มีการเติม CaSi_2 ในเงินสเตอร์ลิงหลอมเหลวที่ 1100 °C พร้อมทำการร่วนน้ำโลหะ ช่วงแรกหลังการเติม ปริมาณออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็ว กระทั่งช้าลง และลดลงถึงค่าต่ำสุดที่เวลาหนึ่ง จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึงระดับคงที่ที่อยู่ช่วงหนึ่งก่อนที่จะมีการปรับค่าสูงขึ้นในช่วงต่อไป จะเห็นว่าการเติมด้วย 0.3 % จะสามารถทำให้การละลายกลับของออกซิเจนเกิดได้ช้ากว่าการเติม 0.1 % หรือ 0.5 % จากรูป 4.3 จะสังเกตการเปลี่ยนแปลงของ

ออกซิเจนเปรียบเทียบกับปริมาณซิลิคอน และแคลเซียมเมื่อทำการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.3 % ออกซิเจนจะลดลงตามการลดลงของแคลเซียมในช่วง 0 - 6 นาที แต่เมื่อใช้เวลาเกิน 6 นาทีปริมาณซิลิคอนจะค่อย ๆ ลดลง ขณะที่แคลเซียมและออกซิเจนจะคงที่เมื่อทดลองเติม 0.5 % CaSi_2 พบว่า ช่วงแรก 0 - 3 นาที ดังรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าซิลิคอน และแคลเซียมจะลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น และ ขณะที่แคลเซียมและซิลิคอนลดลง ปริมาณออกซิเจนกลับมีปริมาณคงที่ตามเวลา หลังการกวน ดังรูป 4.4 จนกระทั่ง 9 นาที จะกลับละลายเพิ่มขึ้นอีกอย่างมากซึ่งจะสังเกตพบว่าการกระเพื่อมอย่างรุนแรงของน้ำโลหะในช่วงนี้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมากเมื่อเวลา 14 นาที หลังการกวน

รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบปริมาณออกซิเจนที่ละลายในเงินสเตอร์ลิงหลอมเหลวที่เติม 0.5 % แคลเซียมซิลิไซด์ โดยวัดค่า Emf กับการชั่งตัวอย่าง จะเห็นแนวโน้มที่เหมือนกันของการละลายของปริมาณออกซิเจนจากการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ถึงอย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของค่าที่วิเคราะห์ได้จากทั้ง 2 วิธีย่อมเกิดขึ้นได้อันเกิดจากสภาพของการละลายต่างกัน



รูปที่ 4.7 ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในเงินสเตอร์ลิงที่เวลาการหลอมต่าง ๆ ของการเติม 0.5 % CaSi_2 จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีชั่งตัวอย่างเปรียบเทียบกับการวัดค่า Emf

ผลของการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่าง ๆ กันที่เวลา 0 นาที ดังรูปที่ 4.1 จะพบว่า ออกซิเจนมีแนวโน้มคงที่ตามปริมาณของแคลเซียมซิลิไซด์แสดงว่าออกซิเจนส่วนใหญ่จะลดลงในระหว่างทำการกวน

เมื่อใช้เวลากการหลอมนาน 6 นาที ผลของการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ จะเห็นว่า ถ้าเติม แคลเซียมซิลิไซด์น้อย ๆ ที่เวลา 6 นาที หลังการกวนจะเหลือแคลเซียมและซิลิคอนค่อนข้างต่ำ ทำให้

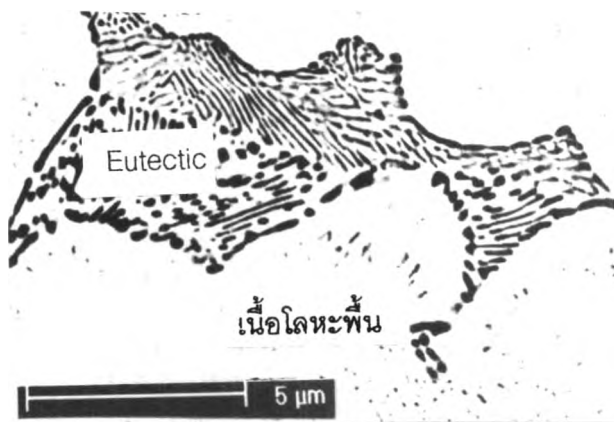
ออกซิเจนละลายกลับเพิ่มขึ้น ค่าออกซิเจนช่วงนี้จึงสูง โดยเฉพาะการเติมด้วย 0.1 % CaSi_2 จะพบการเดือดของน้ำโลหะที่เวลา 6 นาที ค่าออกซิเจนจึงสูงมากที่สุด เมื่อเติมมากขึ้นเป็น 0.2 – 0.3 % CaSi_2 ธาตุผสมยังคงมีพอที่จะเกิดออกไซด์จากรูปจะเห็นว่า การเติมแคลเซียมซิลิไซด์ตั้งแต่ 0.3 % ขึ้นไปจะทำให้การละลายกลับของออกซิเจนยังไม่เพิ่มขึ้นที่เวลา 6 นาทีหลังการกวน

4.3 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

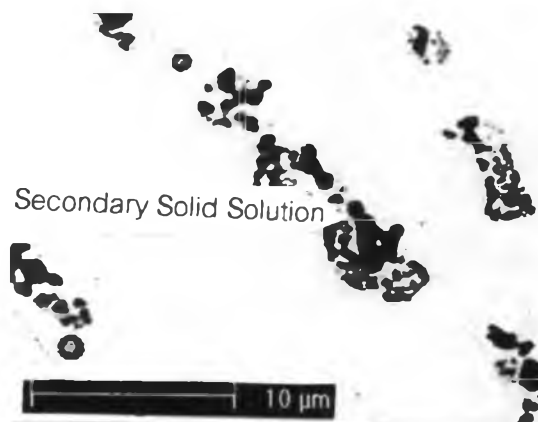
รูปที่ 4.8 เป็นลักษณะโครงสร้างของโลหะเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการผสมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่าง ๆ กัน โดยจะเกิด Secondary Solid Solution กระจายอยู่ในเนื้อพื้นที่มีเงินเป็นส่วนผสมหลัก ปริมาณของทองแดงและซิลิคอนใน Solid Solution ที่ปรากฏขึ้นนี้มีค่ามากกว่าเนื้อพื้น ซึ่งการละลายของทองแดงและซิลิคอนจะแปรไปตามปริมาณของการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ และเวลาหลังการกวน

เงินสเตอร์ลิงที่ไม่ได้เติมแคลเซียมซิลิไซด์จะเกิดโครงสร้างที่เป็นยูเทคติกมีลักษณะเป็นกลุ่มของแถบเส้นหรือจุดสีดำขนาดเล็กผสมกับเฟสสีขาวที่มีปริมาณทองแดงมากกว่าในเนื้อพื้น เมื่อเติม 0.1 – 0.2 % CaSi_2 จะได้ Solid Solution ที่เป็นเม็ดกลมที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ยังคงรวมกันเป็นกลุ่มเล็ก ๆ คล้ายยูเทคติก ถ้าเติม 0.1 % CaSi_2 ภายในกลุ่มจะมีโครงสร้างสีดำขนาดต่าง ๆ กันหลายขนาดตั้งแต่เส้นหรือจุดเล็ก ๆ จนถึงจุดหรือเม็ดที่ใหญ่ขึ้นรวมกลุ่มกันอยู่ แต่ถ้าเติม 0.2 % CaSi_2 แต่ละกลุ่มจะมีจำนวนเม็ดลดลงเหลือประมาณ 3 - 4 เม็ดในแต่ละกลุ่มและขนาดเม็ดจะใกล้เคียงกัน แต่การกระจายตัวของแต่ละกลุ่มในเนื้อพื้นจะมีความถี่น้อยลงกว่าการเติม 0.1 % CaSi_2 และเมื่อพิจารณา ปริมาณซิลิคอนและทองแดงที่ละลายในโครงสร้าง พบว่าปริมาณการละลายจะเพิ่มขึ้นตามขนาดของโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นเม็ดกลมสีดำ

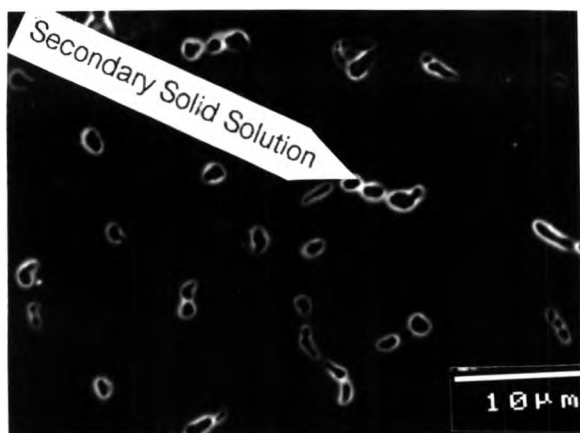
เมื่อทดลองเติมแคลเซียมซิลิไซด์มากขึ้นเป็น 0.3 - 1.0 % จะพบว่าขนาดของ Solid Solution ที่เกิดขึ้นบนเนื้อพื้นจะโตขึ้น และมีปริมาณของซิลิคอนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่จะมีรูปร่างเปลี่ยนไปในทิศทางที่ลดความกลมลงกลายเป็นโครงสร้างที่ยาวมากขึ้น และมีปริมาณทองแดงลดลง ถ้าปริมาณการเติมอยู่ในช่วง 0.75 - 1.0% แคลเซียมซิลิไซด์ แสดงว่าโครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้มีจะกลายเป็นที่มีซิลิคอนมากขึ้น



(ก) ไม่เติม CaSi_2



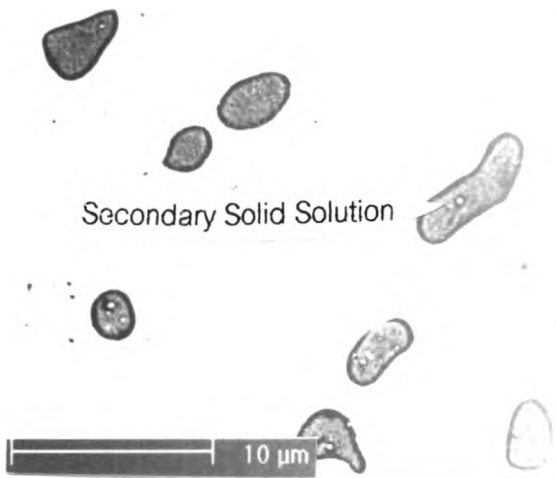
(ข) หลังเติม CaSi_2 0.1 % (0.009% Si)



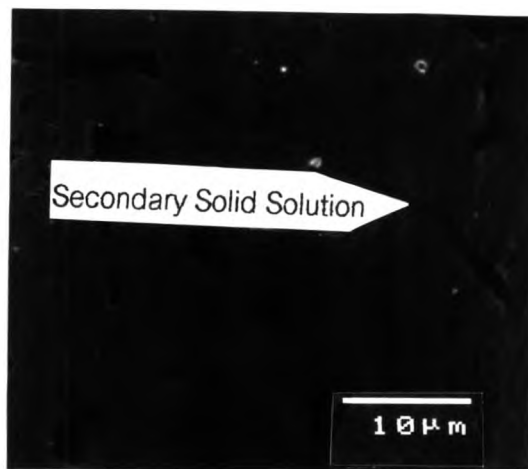
(ค) หลังเติม 0.2 % CaSi_2 (0.022% Si)



(ง) หลังเติม 0.3% CaSi_2 (0.028% Si)



(จ) หลังเติม 0.5 % CaSi_2 (0.028% Si)



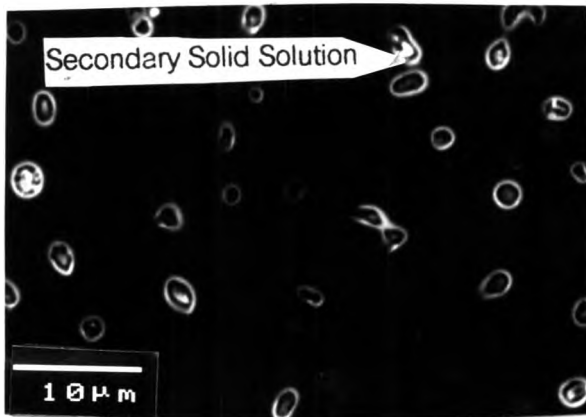
(ฉ) หลังเติม 1.0 % CaSi_2 (0.027% Si)

รูปที่ 4.8 โครงสร้างจุลภาคของงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการเติมแคลเซียมซิลิไซด์
ในปริมาณต่างกัน เมื่อใช้เวลา 0 นาทีหลังการกวน

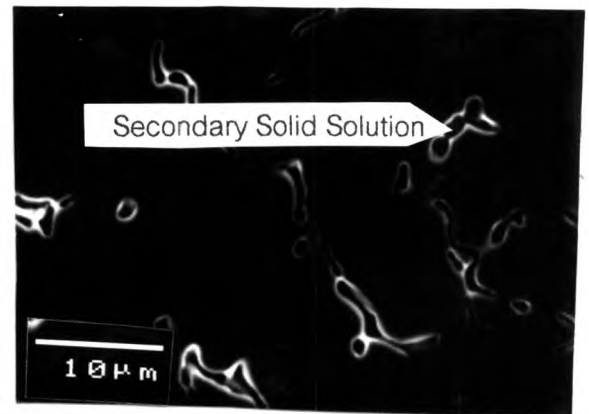


รูปที่ 4.10 – 4.11 เป็นโครงสร้างของเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเคมเคลือบซิลิไซด์ 0.3 % และ 0.5 % ที่เวลาต่างๆ หลังการกวบ จากรูปบริเวณสีดำจะเป็นเนื้อพื้นที่เป็นสารละลายของแข็งที่มีเงินละลายอยู่มาก และมีทองแดงละลายอยู่เพียงเล็กน้อย (ค่ำกว่า 7.5 %) เนื่องจากการแข็งตัวของโลหะแบบไม่สมดุล ส่วน Secondary Solid Solution ที่กระจายในเนื้อพื้น จะมีทองแดงสูงมาก และเงินจะลดลงค่ำกว่าที่ปรากฏในเนื้อพื้น แสดงว่า สารละลายของแข็งที่ปรากฏขึ้นนี้เป็นส่วนผสมระหว่าง สารละลายของแข็งระหว่างเงินและทองแดงชนิดแอลฟาผสมกับสารละลายของแข็งชนิดเบตา ซึ่งเมื่อพิจารณาพีคของธาตุที่วิเคราะห์ด้วย EDX พบว่าปริมาณทองแดงใน Solid Solution จะมากขึ้นตามปริมาณการเคม ดังรูป 4.12 และมีปริมาณสูงกว่า 7.5 หรือ 8.0 % ซึ่งเป็นค่าการละลายสูงสุดของทองแดง และเงินในแอลฟา และเบตาเฟส ตามลำดับ แสดงว่าโครงสร้างที่เกิดขึ้นนี้ประกอบขึ้นจากเบตาผสมกับแอลฟา และมีซิลิคอนละลายรวมอยู่ด้วยในโครงสร้าง เมื่อเปรียบเทียบปริมาณซิลิคอนในเนื้อพื้นที่กับ Solid Solution ที่ปรากฏขึ้นนี้จะพบว่าซิลิคอนในเนื้อพื้นจะน้อยกว่ามาก แสดงว่าซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนี้จะรวมตัวกับทองแดงในรูปของสารละลายได้มากกว่าในเงิน

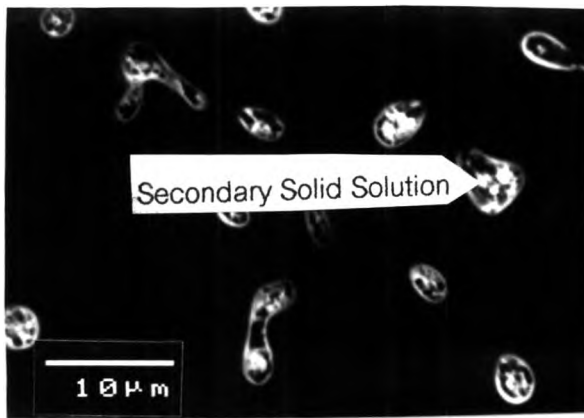
ผลจากการวิเคราะห์ปริมาณทองแดง และซิลิคอนใน Solid Solution ที่ปรากฏขึ้นนี้ด้วย EDX จะพบว่า เมื่อเวลาของการหลอมมากขึ้นโครงสร้างที่เป็น Secondary Solid Solution จะมีทองแดงลดลงจนถึงเวลา 6 นาที จากนั้นปริมาณทองแดงในเฟสจะมากขึ้น แล้วลดลงอีกเมื่อเวลาเกิน 14 นาที หรือ 9 นาทีสำหรับ 0.3 % CaSi_2 และ 0.5 % CaSi_2 ในกรณีการเคมเคลือบซิลิไซด์ 0.3 % ปริมาณซิลิคอนในเฟส จะลดลงเมื่อเวลามากขึ้นจนกระทั่ง 6 นาที จากนั้นจะเพิ่มขึ้นตามเวลาที่มากขึ้นจนถึง 14 นาที จะลดลงตามการลดลงของทองแดง เมื่อเปรียบเทียบกับในกรณีการเคม 0.5 % CaSi_2 ปริมาณซิลิคอนที่ละลายในโครงสร้างจะลดลงตามเวลาหลังการกวบที่มากขึ้น



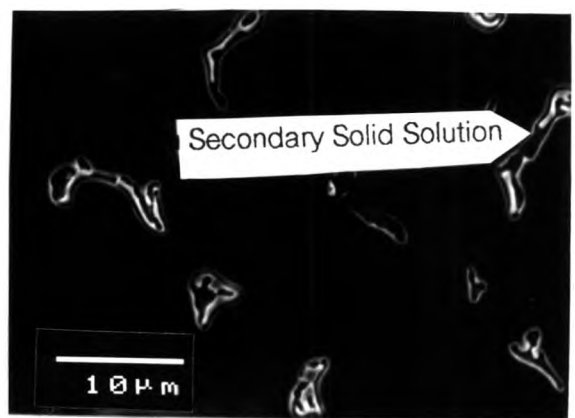
(ก) เวลา 0 นาที หลังการกวน (0.018 % Si)



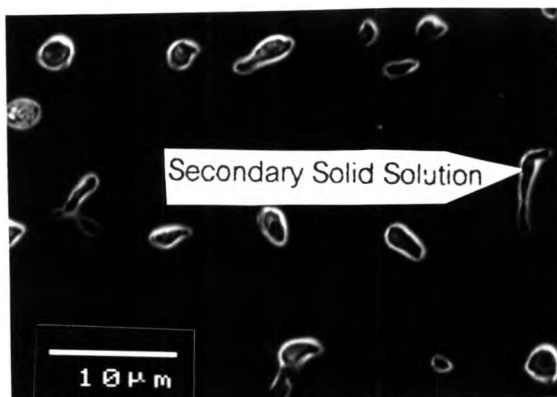
(ข) เวลา 3 นาที หลังการกวน (0.019 % Si)



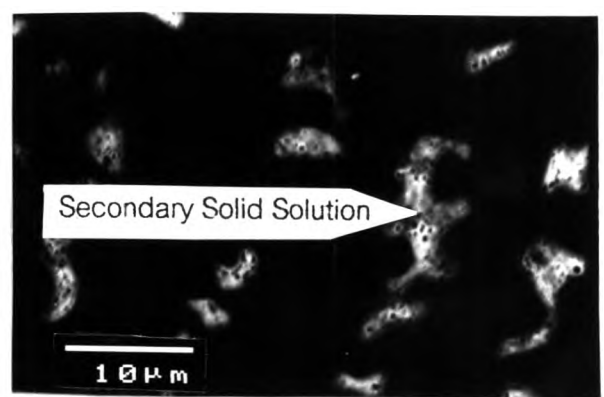
(ค) เวลา 6 นาที หลังการกวน (0.042 % Si)



(ง) เวลา 9 นาที หลังการกวน (0.039 % Si)

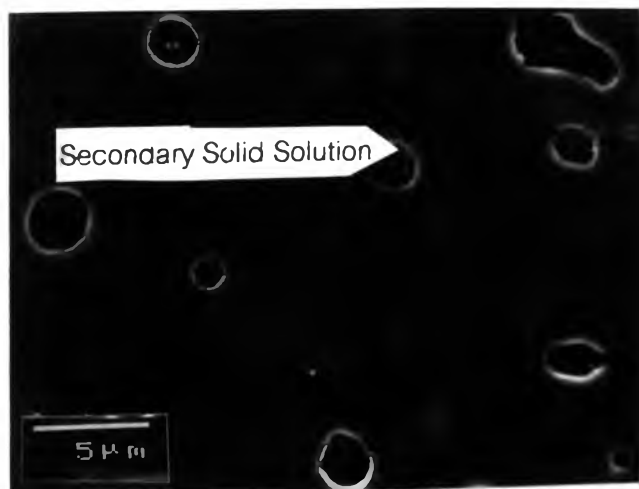


(จ) เวลา 14 นาที (0.030 % Si)

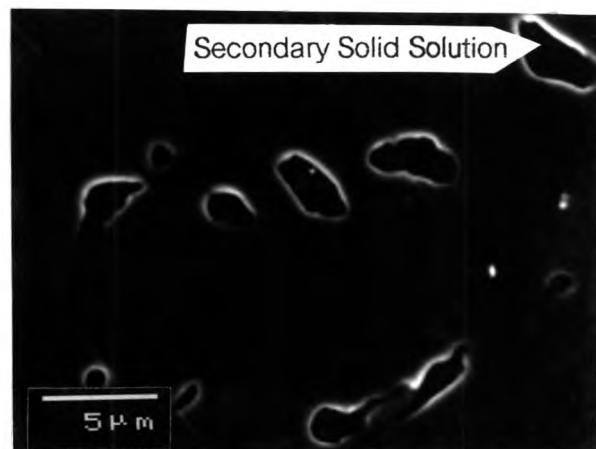


(ฉ) เวลา 19 นาที หลังการกวน

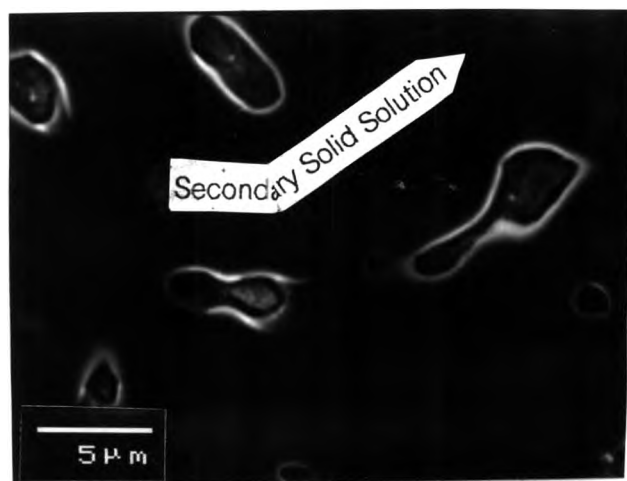
รูปที่ 4.9 โครงสร้างจุลภาคของงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ได้ภายหลังจากการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.3% ที่เวลาต่างๆ หลังการกวน



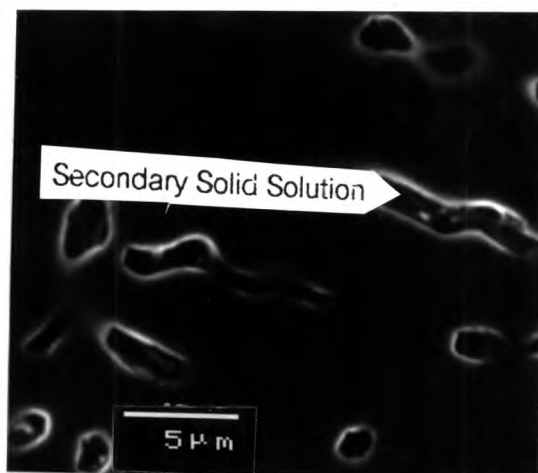
(ก) เวลา 0 นาที (0.028 % Si)



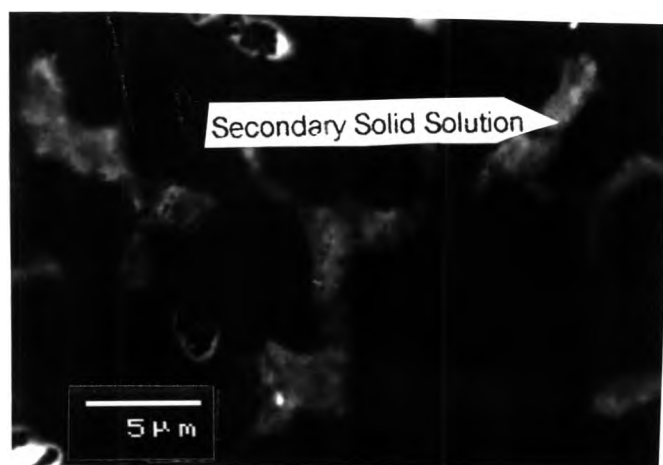
(ข) เวลา 3 นาที (0.019 % Si)



(ค) เวลา 6 นาที (0.012 % Si)

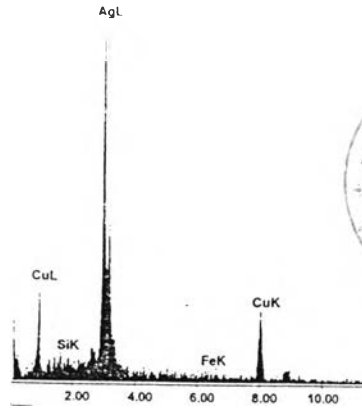
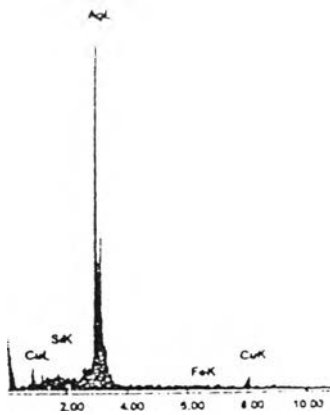


(ง) เวลา 9 นาที (0.008 % Si)



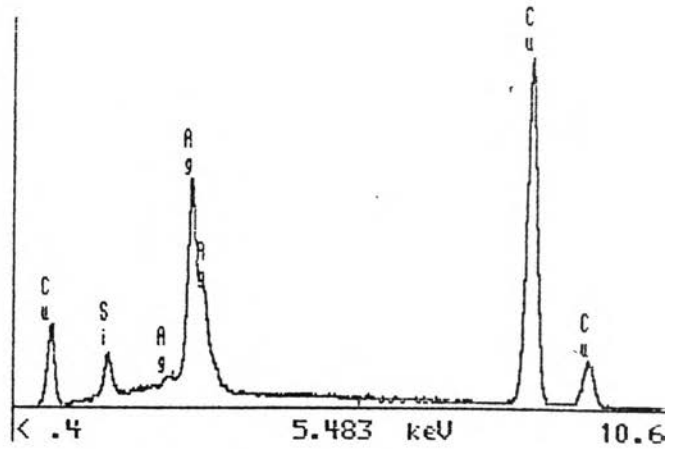
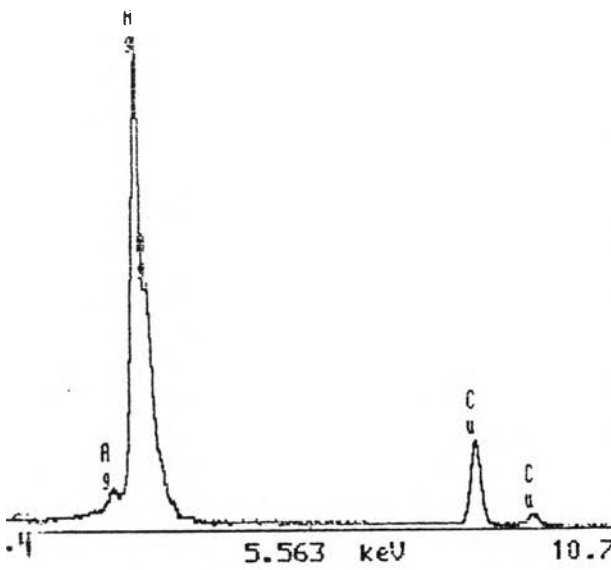
(จ) เวลา 14 นาที (0.0068 % Si)

รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคของเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.5 % ที่เวลาต่างๆ หลังการกวน



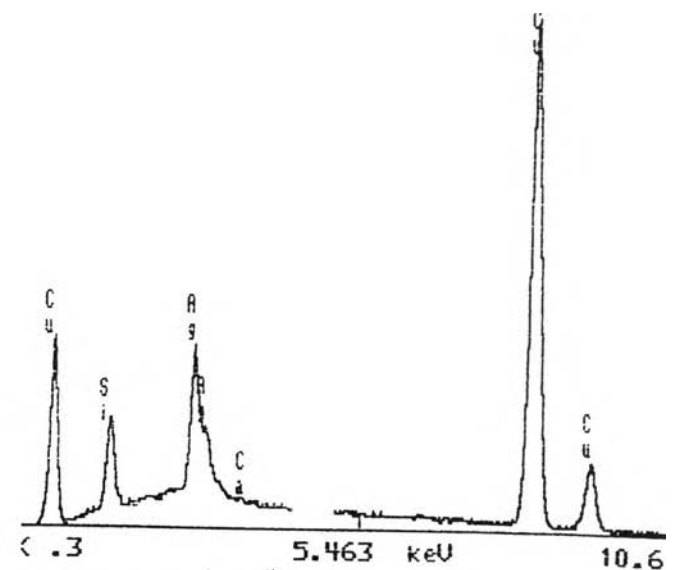
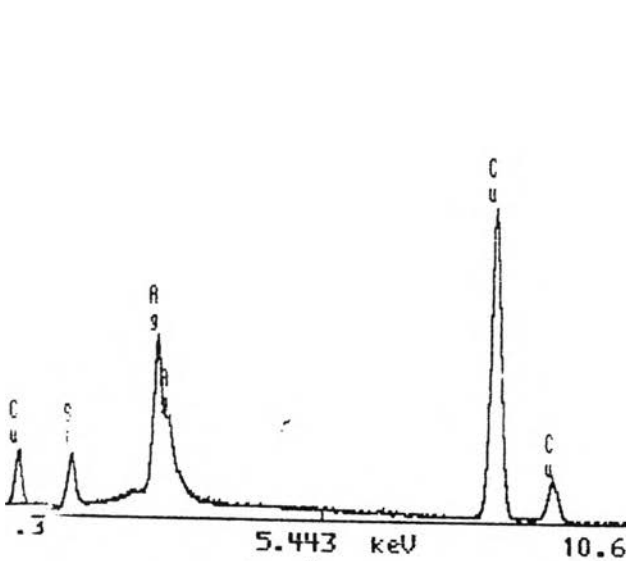
(ก) เนื้อโลหะพื้น (ไม่เติมแคลเซียมซิลิไซด์)

(ข) โครงสร้างยูเทคติก (ไม่เติมแคลเซียมซิลิไซด์)



(ค) โครงสร้างที่เกิดขึ้น (เติม 0.1 % CaSi₂)

(ง) โครงสร้างที่เกิดขึ้น (เติม 0.3 % CaSi₂)



(จ) โครงสร้างที่เกิดขึ้น (เติม 0.5 % CaSi₂)

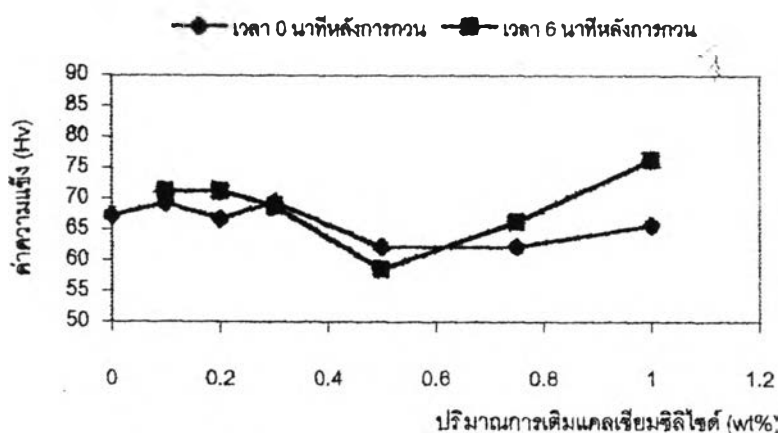
(ฉ) โครงสร้างที่เกิดขึ้น (เติม 1.0 % CaSi₂)

รูปที่ 4.11 พิกของธาตุผสมที่ละลายในโครงสร้างที่เกิดขึ้นของเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เติม และเติม แคลเซียมซิลิไซด์ ปริมาณต่างๆ กันและทำการหล่อที่เวลา 0 นาที หลังการกวน

4.4 ผลการทดสอบความแข็ง

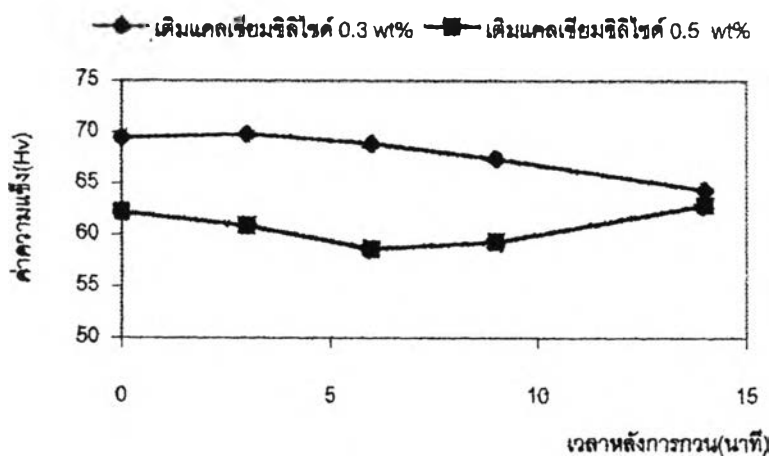
รูปที่ 4.12 แสดงผลการวัดค่าความแข็งของตัวอย่างชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่าง ๆ ที่เวลา 0 และ 6 นาทีหลังการกวน พบว่าการเติม 0.1 - 0.3 % แคลเซียมซิลิไซด์ จะทำให้ความแข็งเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ ในกรณีการเติม 0.5% จะสามารถลดความแข็งลงได้มากขึ้น และเมื่อเติมมากขึ้นเป็น 0.75 - 1.0 % ค่าความแข็งจะปรับเพิ่มขึ้นมากกว่าการเติมด้วย 0.5 % CaSi_2 ผลของปริมาณการเติมที่ไม่เท่ากันทำให้เกิด Solid Solution ที่มีซิลิคอนและทองแดงต่างกัน ซึ่งมีผลโดยตรงต่อขนาด รูปร่าง และการกระจายตัวของ Secondary Solid Solution ในเนื้อพื้น จากการพิจารณาข้อมูลดังกล่าวกับค่าความแข็งที่วัดได้ สามารถอธิบายได้ว่า ช่วง 0 - 0.3 % CaSi_2 ที่เวลา 0 นาทีหลังการกวน การที่ความแข็งเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพราะ โครงสร้างมีขนาดเล็กกลอง เมื่อเติม CaSi_2 มากขึ้นเป็น 0.5 - 1.0 % ความเป็นกลุ่มก้อนจะหายไปเหลือโครงสร้างที่เป็นเม็ดเดี่ยวที่มีขนาดโตขึ้น รูปร่างมีลักษณะที่ยาวขึ้นแต่ในกรณีการเติม 0.5 % CaSi_2 จะได้โครงสร้างที่โตกว่าที่ได้จากการเติมด้วย 0.3 % CaSi_2 ความแข็งจึงลดต่ำลงอย่างชัดเจน และถ้าเติมด้วย 0.75 - 1.0 % CaSi_2 ค่าความแข็งจะเพิ่มขึ้นอันเป็นผลจากการที่รูปร่างมีความกลมลดลง และที่เวลา 6 นาทีหลังการกวนที่ช่วงการเติม 0.1 - 0.2 % CaSi_2

ค่าความแข็งเพิ่มขึ้นเพราะ โครงสร้างที่เป็นกลุ่มของเม็ดขนาดเล็กกระจายตัวมากขึ้นในเนื้อพื้นและมีขนาดเล็กกลองเมื่อเติม CaSi_2 0.3 - 0.5 % โครงสร้างจะไม่เป็นกลุ่มก้อนแต่มีลักษณะขนาดเม็ดโตขึ้นและเมื่อเติม 0.75 - 1.0 % CaSi_2 โครงสร้างจะมีลักษณะยาวมากขึ้นเรียวยาวและต่อเนื่องเป็น network มากขึ้นความแข็งจึงเพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงค่าความแข็งของงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่เปลี่ยนไปตามปริมาณการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณ 0.1 - 1.0 % ที่เวลา 0 นาที และ 6 นาที หลังการกวน

รูปที่ 4.13 เป็นค่าความแข็งที่เวลา 0 นาทีและ 6 นาทีหลังการกวน ของงานหล่อเงินสเตอร์ลิงหลังการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.3 % และ 0.5 % จะเห็นว่าที่เวลา 0 นาทีหลังการกวนด้วย 0.3 % ค่าความแข็งจะเพิ่มมากกว่าที่ไม่เติมเล็กน้อย จากนั้นเมื่อเวลามากขึ้นความแข็งจะค่อย ๆ ลดลง และลดลงไม่มากนัก ในขณะที่เมื่อเติมด้วย 0.5 % ค่าความแข็งจะลดต่ำลงมากกว่าเงินสเตอร์ลิงที่ไม่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ และจากนั้นค่าความแข็งจะเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อยเมื่อเวลาเปลี่ยนไปจนกระทั่งที่ 6 นาทีความแข็งจะลดลงอีก แล้วกลับค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเกิน 6 นาที



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงค่าความแข็งที่เปลี่ยนไปตามเวลาการหลังการกวนของเงินสเตอร์ลิงที่เติมด้วย 0.3 % และ 0.5 % แคลเซียมซิลิไซด์

4.5 ผลการทดสอบความต้านทานต่อการหมองของเงินผสม

ชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการเติมและไม่เติมแคลเซียมซิลิไซด์จะมีผิวด้านนอกที่ต่างกันตามปริมาณของการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ และเวลาที่ใช้ทำการหล่อหลังการกวน จากรูปที่ 4.14 (ก)-(ง) จะเห็นว่าทั้งผลของเวลาหลังการกวนและปริมาณแคลเซียมซิลิไซด์ที่ใช้เติมจะมีอิทธิพลต่อสีผิวด้านนอกของงานหล่อ ผิวนอกชิ้นงานที่วิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ XPS จะพบว่าเกิดออกไซด์ขึ้น กรณีผิวสีดำจะเป็นออกไซด์ของทองแดง และสีแดงจะเป็นออกไซด์ของทองแดงด้วย จากรูปที่ 4.15 เป็นพีคของธาตุที่พบบนผิวของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ได้จากการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ในปริมาณที่ต่างกัน โดยทุกชิ้นงานหล่อจะเกิดพีคของออกซิเจน แต่ในชิ้นงานที่มีผิวสีดำและผิวสีแดงจะพบพีคของทองแดงสูงกว่าชิ้นงานอื่น และชิ้นงานที่มีผิวสีแดงจะพบพีคทองแดงมากกว่าชิ้นงานที่มีผิวสีดำ แสดงว่าสีแดงเป็นออกไซด์ของทองแดง (Cu_2O) และสีดำคือเป็นออกไซด์ของทองแดงที่อยู่ในรูปของ CuO แต่พบว่าชิ้นงานที่เติม 0.3 % , 0.5 % , และ 1.0 % แคลเซียมซิลิไซด์ จะมีพีคของออกซิเจนสูง และพีคของทองแดงต่ำ แสดงว่าเกิดออกไซด์ฟิล์มเคลือบผิวของชิ้นงานไว้ ทองแดงจึงไม่สามารถเกิดออกไซด์ได้ สีที่ได้จึงเป็นสีขาวของโลหะเงินและฟิล์มที่คลุมผิวโลหะเงินไว้ จึงไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าเป็นฟิล์มของซิลิโคนออกไซด์หรือไม่ แต่จากรูปที่ 4.15 จะสังเกตพีคของธาตุแคลเซียมปรากฏขึ้นบนผิวของเงินผสมที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.3 – 1.0 % ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับผิวชิ้นงานที่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.1 – 0.2 % จะไม่ปรากฏพีคของแคลเซียม แสดงว่าสีขาวที่ผิวของงานหล่อเกิดจากฟิล์มของแคลเซียมออกไซด์ซึ่งมีลักษณะสีขาวขุ่นออกสีเหลือง ผสมกับสีโลหะเงิน



รูปที่ 4.14 (ก) ชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.3 % ที่เวลา 0, 3, 6, 9, 14 นาที่ ตามลำดับจากซ้ายไปขวา



เวลา 3 นาที่ หลังการกวน

เวลา 6 นาที่ หลังการกวน

เวลา 9 นาที่ หลังการกวน

เวลา 14 นาที่ หลังการกวน

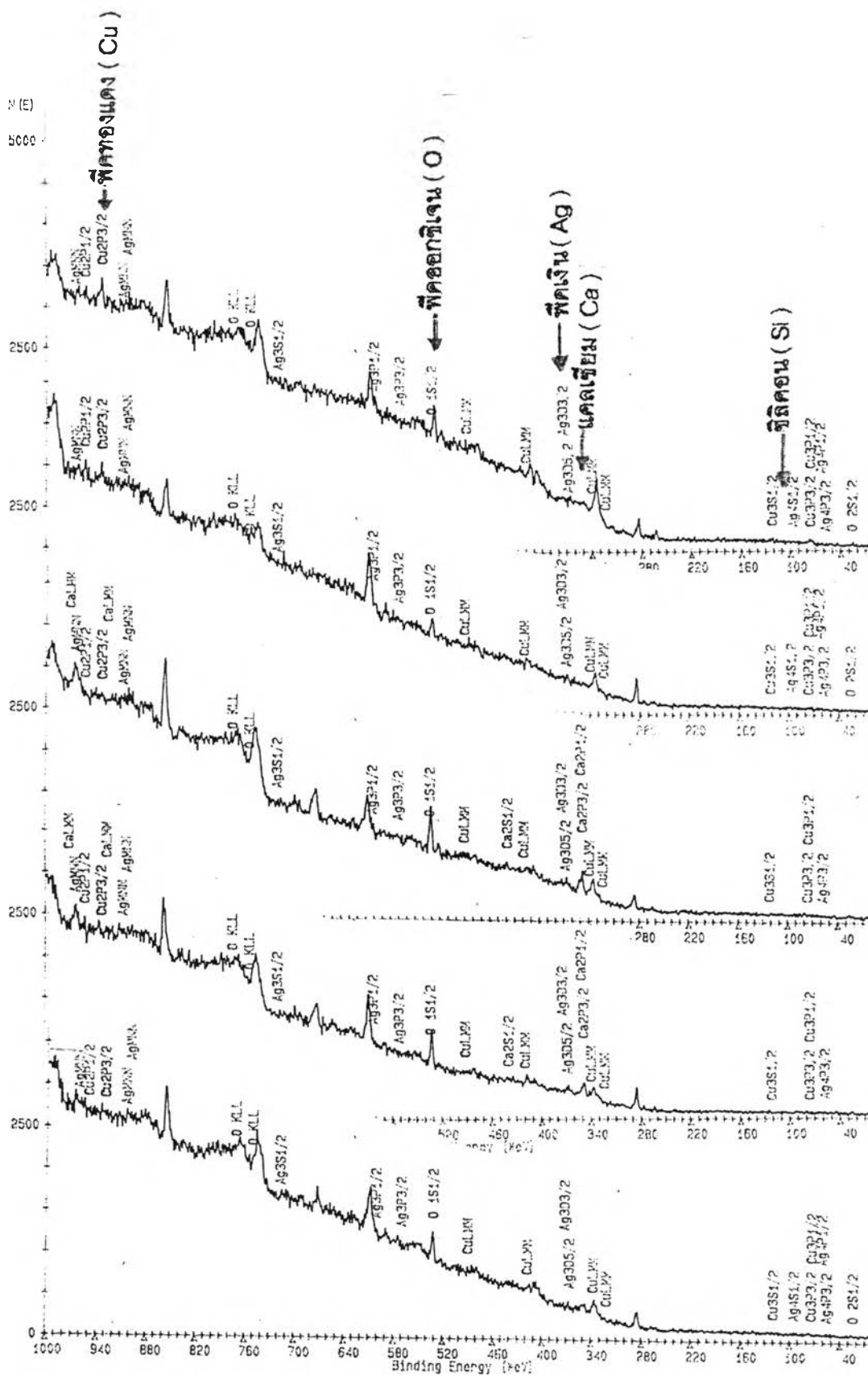
รูปที่ 4.14 (ข) ชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.5 % ที่เวลา 3, 6, 9, 14 นาที่ เรียงลำดับจากบนลงล่าง



รูปที่ 4.14 (ค) ชิ้นงานล่อเงินสเตอร์ลิงที่เคลือบเคลือบซีเมนต์ซีเมนต์ 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 และ 1.0 %
ที่เวลาหลังการกวน 0 นาที เรียงจากด้านบนลงด้านล่าง

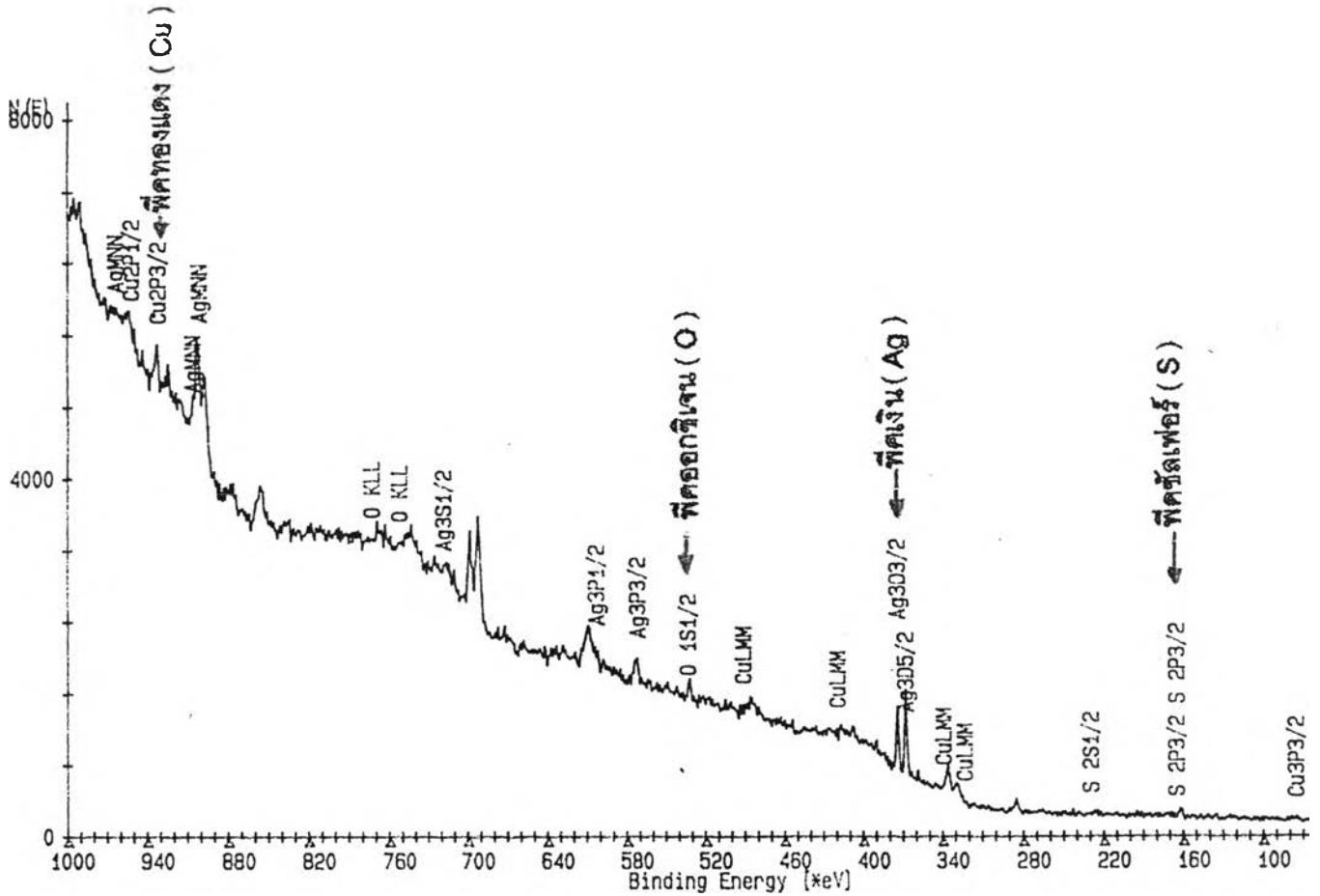


รูปที่ 4.14 (ง) ชิ้นงานล่อเงินสเตอร์ลิงที่เคลือบเคลือบซีเมนต์ซีเมนต์ 0.1, 0.2, 0.5, 0.75 และ 1.0 %
เวลา 6 นาที เรียงจากด้านซ้ายมือมายังขวามือ

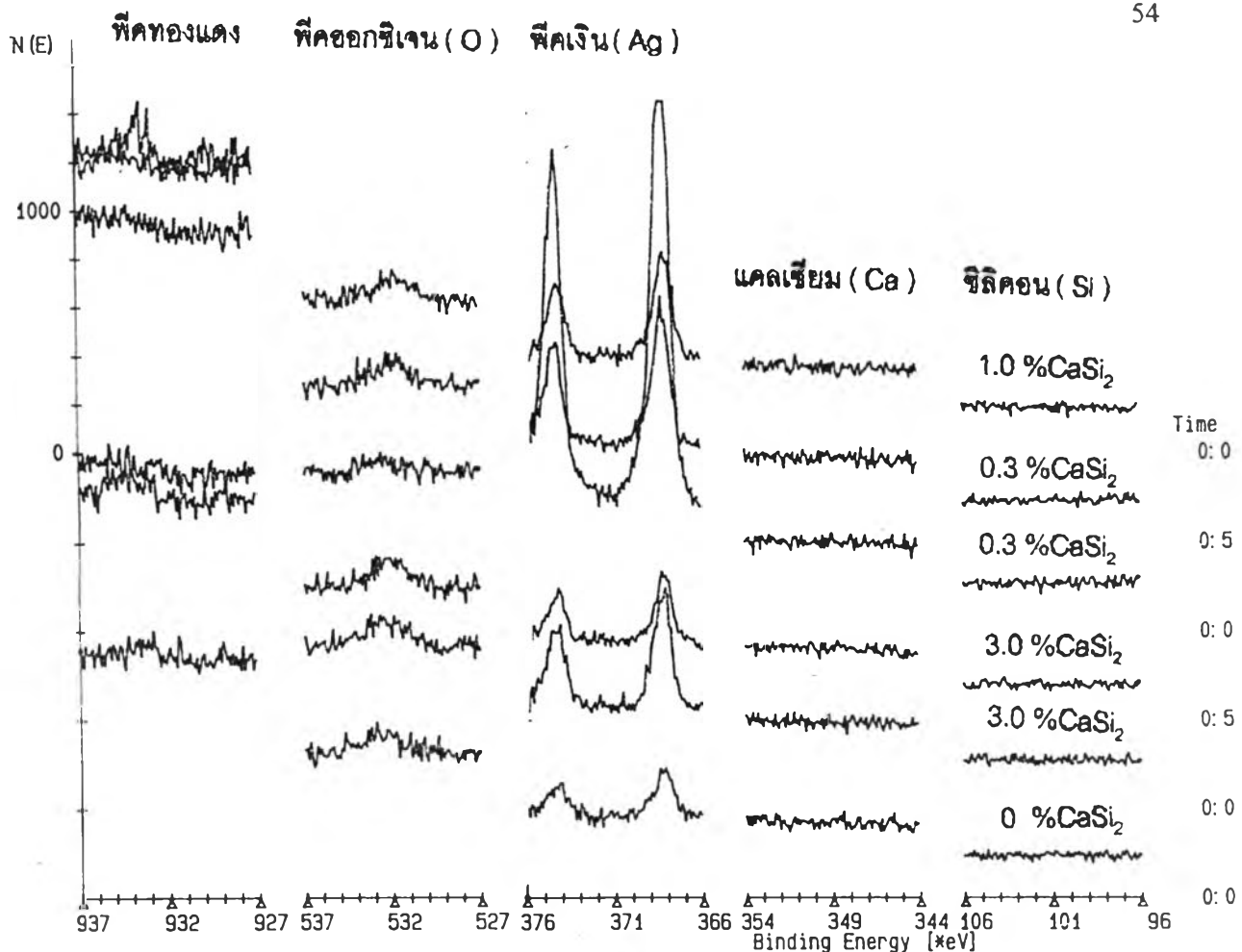


รูปที่ 4.15 ฟิสิกของธาตุที่พบบนผิวนอกชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ทำการหล่อ ณ เวลา 0 นาทีหลังการ
 กวน และผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.1, 0.2, 0.3, 0.5 และ 1.0 % โดยน้ำหนัก เรียง
 ลำดับจากบนลงล่าง

ผลการวิเคราะห์ผิวชิ้นงานเพื่อตรวจสอบฟิล์มที่ปรากฏบนโลหะผสมหลังการทดสอบการหมองด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ XPS พบว่า เกิดพีคซัลเฟอร์ขึ้นที่ผิวชิ้นงานภายหลังการหลอม ดังรูปที่ 4.16 และพบพีคของโลหะเงินสูงมากกว่าปกติ ฟิล์มซัลไฟด์ที่ได้จึงเป็น Ag_2S ส่วนชิ้นงานก่อนการทดสอบเมื่อทำการวิเคราะห์ผิวจะพบพีคของออกซิเจนบนผิวชิ้นงานหล่อที่ได้จากการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณต่างๆ กัน ดังรูป 4.17 เนื่องจากผิวชิ้นงานก่อนการทดสอบจะเป็นสีโลหะเงินออกไซด์ที่เกิดขึ้นบนผิวจึงไม่สามารถสังเกตเห็นได้ด้วยตาเปล่าจากการวิเคราะห์พีคที่พบซัลเฟนคือออกซิเจนและเงินเท่านั้นพีคซิลิคอนไม่ปรากฏซัลเฟนเช่นเดียวกับผิวนอกของชิ้นงาน ที่ยังไม่สามารถระบุฟิล์มใสที่เกิดขึ้นได้ว่าเป็นฟิล์มออกไซด์ของธาตุผสมใด แม้ว่าจะพบธาตุผสมอื่นก็ตาม เช่นทองแดงและเงิน แต่ออกไซด์ของทองแดงจะมีสีดำหรือชมพู และออกไซด์ของเงินเกิดได้ยากในบรรยากาศ



รูปที่ 4.16 พีคของซัลเฟอร์ที่วิเคราะห์พบบนผิวที่ทำการเตรียมโดยการจัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 แล้วทำการทดสอบการหมองในบรรยากาศที่มีซัลเฟอร์เข้มข้นสูง

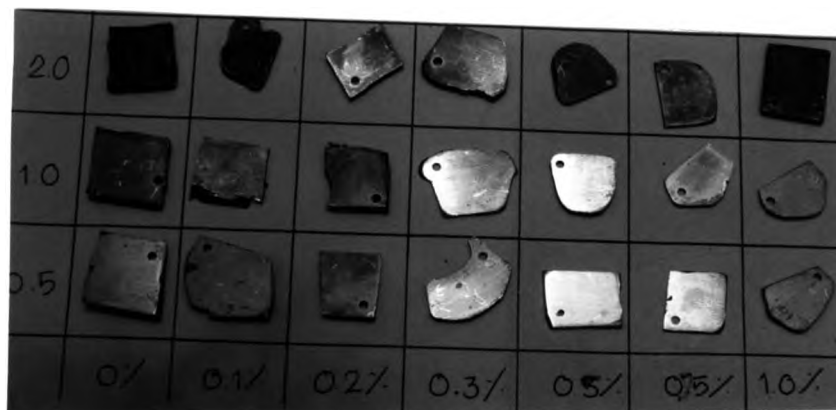


รูปที่ 4.17 พีคของออกซิเจนที่วิเคราะห์บนผิวชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียม ซิลิไซด์ 1.0%, 0.3%, 0.3%, 3.0%, 3.0% และ 0% ตามลำดับจากบนลงล่าง และทำการเตรียมด้วยการขัดกระดาษทรายเบอร์ 600 ก่อนทำการทดสอบการหมอง

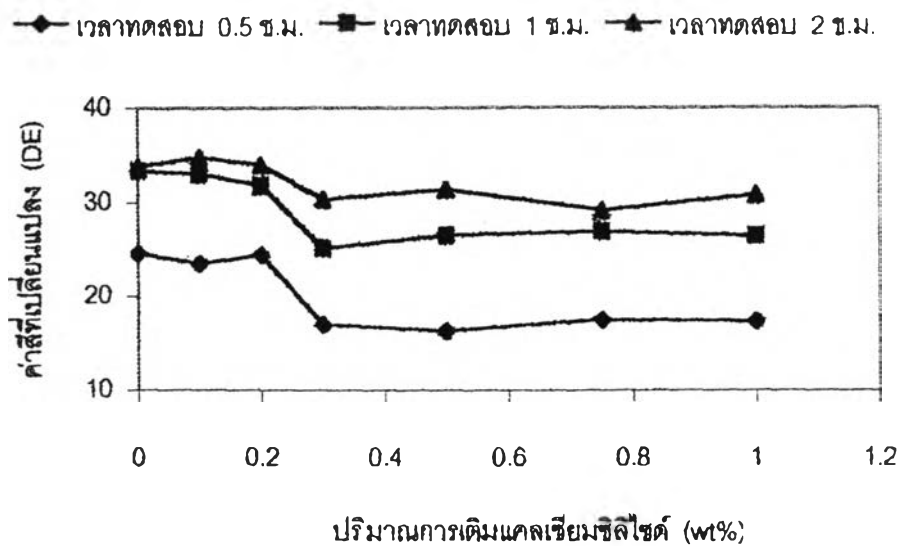
การเปลี่ยนแปลงของสีบนผิวโลหะขณะทำการทดสอบในบรรยากาศที่มีซัลเฟอร์ปริมาณ ความเข้มข้นสูง เมื่อเวลาทดสอบมากขึ้นสีผิวชิ้นงานจะเปลี่ยนแปลงจาก สีของเนื้อโลหะดังนี้

- สีเนื้อโลหะ สีขาวใส
- สีเหลืองอ่อน
- สีเหลือง
- สีเหลืองออกน้ำตาล
- สีนํ้าตาล
- สีนํ้าตาลแก่
- สีนํ้าตาลอมม่วง
- สีม่วงอ่อน
- สีม่วงแก่
- สีม่วงอมน้ำเงิน
- สีม่วงอมฟ้า
- สีฟ้าอ่อน(ฟ้าขาว)
- สีขาวขุ่น
- สีเทา
- สีเทาดำ
- สีดำ
- สีดำเข้ม

ชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณที่ต่างๆ กันและที่ทำการหล่อในเวลา 0 นาทีหลังการกวนเมื่อทำการทดสอบการหมองโดยการเตรียมผิวด้วยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 และใช้เวลาทดสอบการหมองต่างกันคือ 0.5, 1, 2 ชั่วโมง จะพบว่าชิ้นงานหล่อที่ทดสอบการหมองจะมีสีต่างกัน ดังรูป 4.18 โดยที่เวลาทดสอบ 0.5 ชั่วโมง ชิ้นงานหล่อที่มีความเปลี่ยนแปลงสีผิวมาก คือชิ้นงานที่ไม่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ , เติม 0.1 % CaSi_2 , เติม 0.2 % CaSi_2 ส่วนชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนแปลงสีผิวไม่มากนักคือชิ้นงานที่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.3, 0.5, 0.75 และ 1.0 % เมื่อใช้เวลาทดสอบมากขึ้นสีผิวชิ้นงานจะเกิดการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นแสดงถึงการเกิดปฏิกิริยาของซัลเฟอร์ในบรรยากาศกับผิวชิ้นงานมากขึ้น ผิวชิ้นงานสะท้อนแสงได้น้อยลง ค่าความสว่างจึงลดต่ำลงมากขึ้นเมื่อทำการวัดค่า L, a, b บนผิวชิ้นงานที่ทดสอบเวลาทำงาน แล้วคำนวณค่าสีที่เปลี่ยนแปลง (DE) จะพบว่าชิ้นงานที่เติม CaSi_2 หรือเติม 0.1 – 0.2 % CaSi_2 จะมีค่า DE และค่าความสว่างลดลง (dL) มากกว่าชิ้นงานที่เติม 0.3 – 1.0 % CaSi_2 ดังรูปที่ 4.19

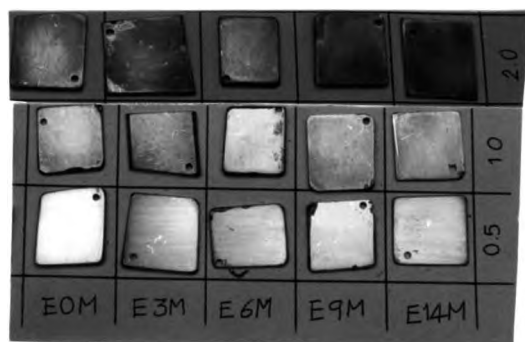


รูปที่ 4.18 ภาพถ่ายสีผิวชิ้นงานที่เติมแคลเซียมซิลิไซด์ปริมาณ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0 % ที่ผ่านการทดสอบการหมองโดยใช้เวลาทดสอบ 0.5-2 ชั่วโมง เตรียมผิวโดยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 (เวลา 0 นาทีหลังการกวน)

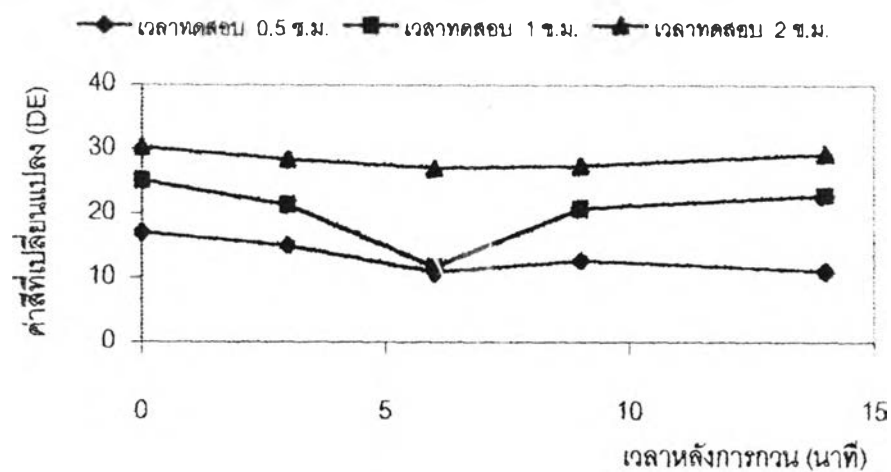


รูปที่ 4.19 ผลการวัดค่าสีของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ทำการเติม CaSi_2 ปริมาณต่างๆ กันและทำการหล่อ ณ เวลา 0 นาทีหลังการกวนผ่านการทดสอบการหมองจากการเตรียมผิว ด้วยการขัดด้วยกระดาษทรายเบอร์ 600 แล้วทำการทดสอบการหมองในบรรยากาศที่มีซิลไฟด์เข้มข้นสูงเหนือสารละลายผสมระหว่างโซเดียมซิลไฟด์ในน้ำ

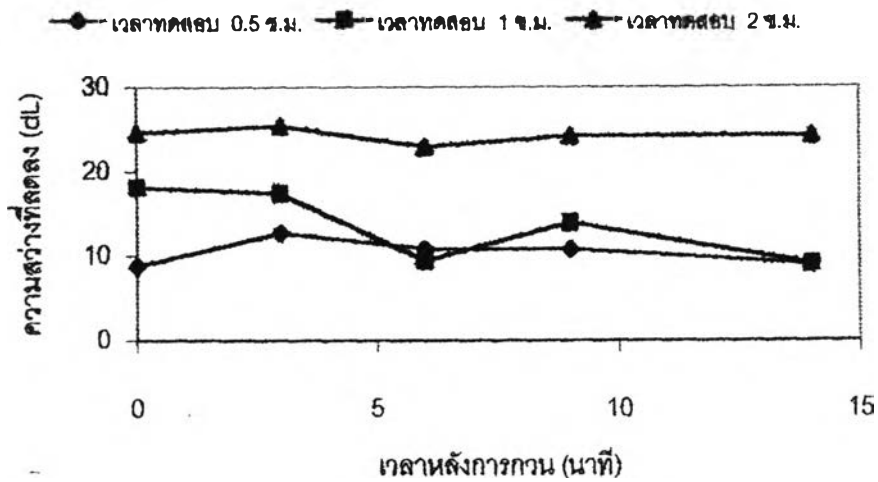
ผลการทดสอบโลหะผสมที่เติมด้วย 0.3 % ซึ่งเป็นส่วนผสมแรกที่ดีที่สุดที่สามารถช่วยต้านทานการหมองของเงินสเตอร์ลิงได้ เมื่อทำการหล่อ ณ เวลาต่างๆ หลังการกวนดังนี้ 0,3,6, 9, 14 นาที พบว่า ลำดับความสามารถในการต้านทานต่อการหมองโดยสังเกตด้วยสายตาได้ผลเป็นดังนี้ 6, 9,14, 3, 0 นาทีหลังการกวน ตามลำดับจากมากไปน้อย ดังรูปที่ 4.20 ผลการวัดค่าสีผิวที่เปลี่ยนแปลงและความสว่างที่ลดลงไปหลังการทดสอบการหมอง พบว่าได้ผลสอดคล้องกับรูปที่ 4.21 คือ ชิ้นงานที่ทนการหมองได้ดีตามลำดับจากมากไปน้อยคือ ชิ้นงานที่ทำการหล่อ ณ เวลาต่างๆ หลังการกวนดังนี้ 6, 9, 14, 3, 0 นาที และเช่นเดียวกับผลการวัดค่าความสว่างที่ลดลงในรูปที่ 4.22 ส่วนงานหล่อที่ผ่านการเติมแคลเซียมคลอไรด์ 0.5 % จะพบว่า ค่าสีที่เปลี่ยนแปลงจะมากขึ้นเมื่อเวลาหลังการกวนมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าเมื่อปริมาณของซิลิคอนเหลือในงานหล่ออยู่น้อยลง ตามเวลาหลังการกวนที่มากขึ้นจะทำให้โลหะทนทานต่อการหมองได้น้อยลงด้วย



รูปที่ 4.20 ภาพถ่ายหลังการทดสอบการมองเห็นโดยใช้เวลาทดสอบ 0.5 - 2 ชั่วโมง ของชิ้นงาน หล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเดิม 0.3 % แคลเซียมซิลิไซด์ และทำการหล่อ ณ เวลาต่างๆ หลังการกวน



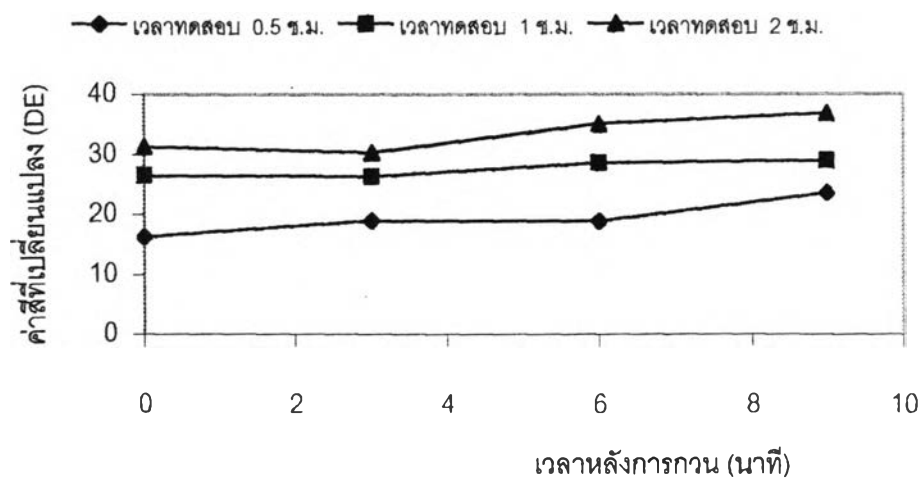
รูปที่ 4.21 ผลการคำนวณค่าสีที่เปลี่ยนแปลงหลังการทดสอบการมองเห็นของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ผ่านการเดิมแคลเซียมซิลิไซด์ 0.3 % หลังทำการหล่อ ณ เวลาต่างๆ หลังการกวน



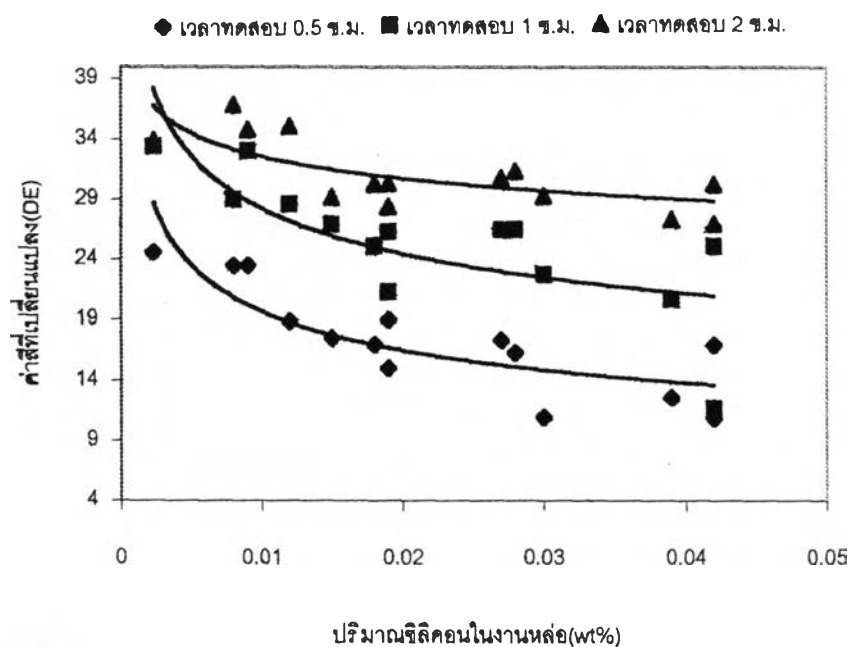
รูปที่ 4.22 ผลการคำนวณค่าความสว่างที่ลดลงหลังทดสอบการหมองของชิ้นงานหล่อเงิน สเตอรัลิ่งที่ผ่านการเค็มแคลเซียมซลิไซด์ 0.3 % หลังทำการหล่อ ณ เวลาต่างๆ หลังการกวน

จากผลการทดสอบการหมองแล้ววัดค่าความเปลี่ยนแปลงสีและความสว่างของผิวชิ้นงาน จะพบว่าความสามารถในการต้านทานการหมองของโลหะเงินสเตอรัลิ่งไม่ได้เกิดจากตัวแปรเพียงปริมาณการเค็มแคลเซียมซลิไซด์เท่านั้น ยังเกี่ยวข้องกับเวลาที่ใช้ในการหลอมเพื่อให้เกิดการละลายของธาตุผสมเป็นเนื้อเดียวกันให้มากที่สุดด้วย จากข้อมูลการละลายของซลิคอนที่ได้จากการเค็มแคลเซียมซลิไซด์ในสภาวะต่างๆ กันพบว่าชิ้นงานที่ทนการหมองได้ดี จะมีปริมาณของซลิคอนมากกว่าชิ้นงานที่ทนการหมองได้ไม่ดี เมื่อพิจารณารูปที่ 4.22 ซึ่งแสดงผลของปริมาณซลิคอนในโลหะเงินสเตอรัลิ่งต่อผลการวัดค่าสีที่เปลี่ยนแปลงและค่าความสว่างที่ลดลง จะพบว่าเมื่อซลิคอนในงานหล่อเงินสเตอรัลิ่งกับค่า DE และ dL จะลดลง ดังนั้นเมื่อทำการพลอตกราฟระหว่างปริมาณซลิคอนในงานหล่อเงินสเตอรัลิ่งกับค่า DE, dL จะได้ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณของซลิคอนที่มากขึ้น ค่า DE, dL จะลดลง แสดงว่าโลหะเงินสเตอรัลิ่งจะทนการหมองได้ดีขึ้น เมื่อปริมาณของซลิคอนในงานหล่อมากขึ้น

จากการวิเคราะห์ส่วนผสมและลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของโลหะผสม ตัวแปรที่น่าจะมีผลต่อความสามารถในการต้านทานการหมอง ได้แก่ ปริมาณซลิคอนที่ละลายในโลหะผสม โครงสร้างจุลภาคของโลหะผสม เวลาของการหลอมโลหะ



รูปที่ 4.23 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงของสีที่วัดได้หลังการทดสอบการหมองของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ทำการเติมแคลเซียมซลิไซด์ 0.5 % และทำการหล่อ ณ เวลาต่างๆ หลังการกวน (เตรียมโดยการจัดกระจายทรายเบอร์ 600, เวลาทดสอบ 0.5, 1, 2 ชั่วโมง)



รูปที่ 4.24 แสดงค่าที่เปลี่ยนแปลงตามปริมาณซลิคอนในงานหล่อหลังการทดสอบการหมองของชิ้นงานหล่อเงินสเตอร์ลิงที่ทำการเติมแคลเซียมซลิไซด์ และทำการหล่อ ที่สภาวะต่างๆ กัน (เตรียมโดยการจัดกระจายทรายเบอร์ 600, เวลาทดสอบ 0.5, 1, 2 ชั่วโมง)