

บทที่ 4

ผลการทดลองและการอภิปราย

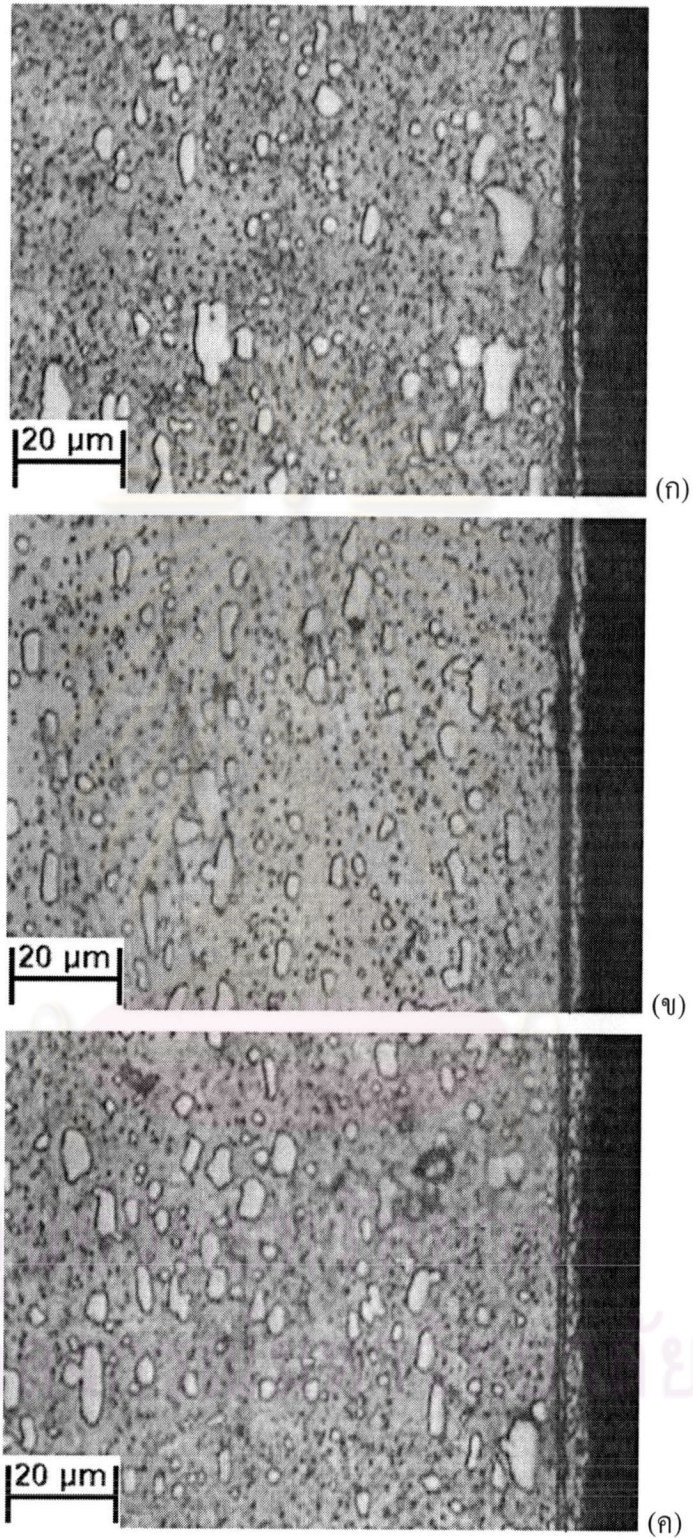
4.1 อิทธิพลของรีดิวเซอร์ต่อชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์

การเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น D2 ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลว เต็มเฟอร์โรวานาเดียม 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นสารฟอรัมคาร์ไบด์ที่อุณหภูมิ 1000°C ทำการ กวนเป็นเวลา 5 นาทีโดยใช้รีดิวเซอร์ตามชนิดและจำนวนที่ต้องการ เคลือบผิวเป็นเวลา 1 ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาที มีผลการทดลองการเคลือบผิวดังนี้

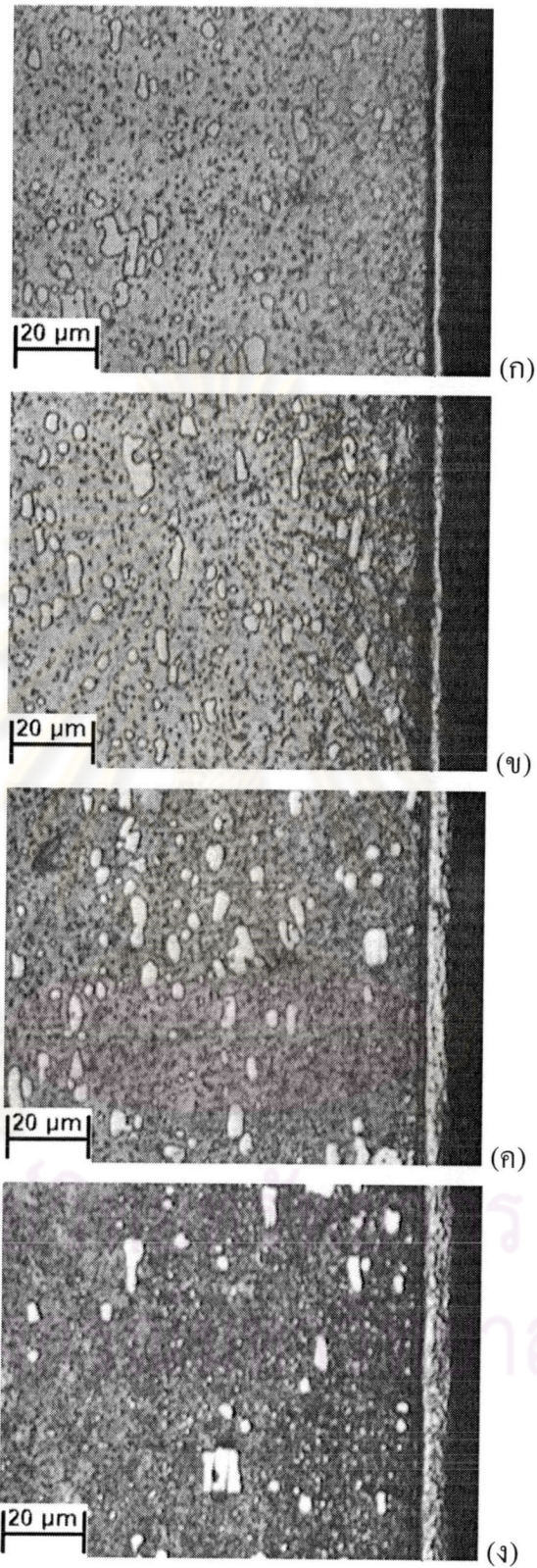
กรณีเติมซิลิกอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์พบว่าที่เวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที และ 4 ชั่วโมงได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 1.90, 3.08 และ 3.72 ไมครอนตามลำดับ ความหนาชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบที่มากขึ้น รูปที่ 4.1 แสดง โครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบที่ผ่านการเคลือบผิวจะเห็นว่า โครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบ แตกต่างจากเนื้อชิ้นงานอย่างชัดเจนจนสามารถเห็นรอยต่อของชั้นเคลือบได้จากกล้องจุลทรรศน์ แบบแสงและชั้นเคลือบมีความหนาขึ้นตามเวลาการเคลือบที่มากขึ้น

กล่าวได้ว่าการใช้ซิลิกอนเป็นรีดิวเซอร์มีส่วนสำคัญในกระบวนการเกิดวานาเดียม คาร์ไบด์ ทั้งนี้เป็นเพราะวานาเดียมจากเฟอร์โรวานาเดียมที่เติมลงในเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวไม่ได้ ละลายในรูปอะตอมวานาเดียมอิสระโดยตรงแต่ละลายอยู่ในรูปของวานาเดียมออกไซด์ซึ่งมีอยู่ 2 รูป คือวานาเดียมเพนตอกไซด์ (vanadium pentoxide, V_2O_5) เป็นออกไซด์ที่มีเสถียรภาพสูงมีค่าพลังงาน อิสระในการเกิดออกไซด์เท่ากับ -124 กิโลแคลอรีต่อกรัม โมลของวานาเดียม และวานาเดียมไตร ออกไซด์ (vanadium trioxide, V_2O_3) เป็นออกไซด์ที่มีเสถียรภาพต่ำมีพลังงานอิสระในการเกิด ออกไซด์เท่ากับ -109 กิโลแคลอรีต่อกรัม โมลของวานาเดียม แต่การที่จะเกิดชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ ไบด์ได้นั้นวานาเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวจะต้องอยู่ในรูปวานาเดียมไตรออกไซด์หรือวานาเดียม อิสระ (nascent V) ก่อนจึงจะรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนที่แพร่ซึมจากเนื้อเหล็กได้ (5)

กรณีเติมซิลิกอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์พบว่าที่เวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง 15 นาทีได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 2.29, 4.10, 5.41 และ 6.62 ไมครอนตามลำดับ รูปที่ 4.2 แสดง โครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบพบว่ามี ลักษณะเดียวกันกับชั้นเคลือบที่พบในกรณีเติมซิลิกอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์แต่มี ความหนาเพิ่มขึ้นเนื่องจากซิลิกอนที่ใช้เป็นรีดิวเซอร์เมื่อมีปริมาณมากก็ขึ้นจะปรีดิคว์วานาเดียม



รูปที่ 4.1 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชั้นงานกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานเดียมเป็นเวลา 5 นาทีและเติมซิลิกอน 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิคเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที และ (ค) 4 ชั่วโมง



รูปที่ 4.2 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานาเดียมเป็นเวลา 5 นาทีและเติมซิลิกอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีติคิวเลอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที

เพนตอกไซด์ (vanadium pentoxide, V_2O_5) ได้มากขึ้นจึงได้ความหนาของชั้นเคลือบมากขึ้น

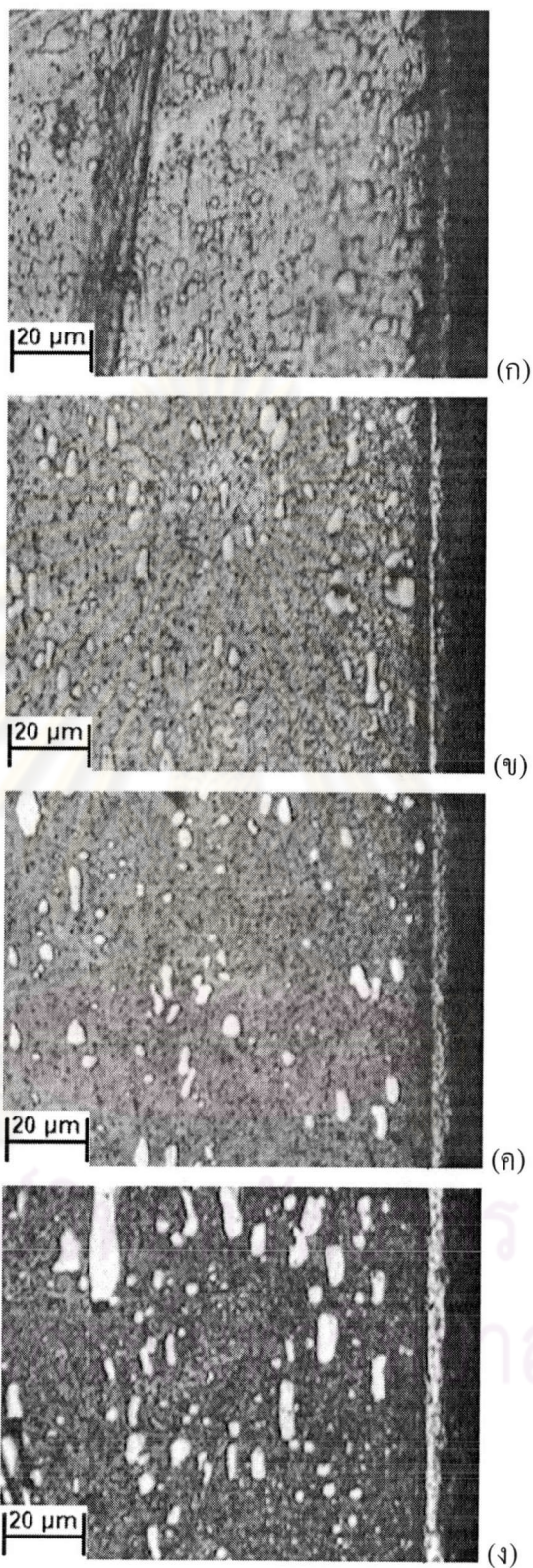
กรณีเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์พบว่าที่เวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง 15 นาทีได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 1.13, 3.72, 4.47 และ 4.57 ไมครอนตามลำดับ รูปที่ 4.3 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบพบว่า มีลักษณะเดียวกันกับชั้นเคลือบที่พบในกรณีเติมซิลิกอน 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์แต่มีความหนาชั้นเคลือบไม่เท่ากับกรณีเติมซิลิกอน 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์

รูปที่ 4.4 กรณีเติมซิลิกอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์มีความหนามากกว่ากรณีเติมซิลิกอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์เนื่องจากซิลิกอนที่ใช้เป็นรีดิวเซอร์เมื่อมีปริมาณมากขึ้นก็จะไปรีดิวซ์วานาเดียมเพนตอกไซด์ (vanadium pentoxide, V_2O_5) ได้มากขึ้นจึงได้ความหนาของชั้นเคลือบมากขึ้น และกรณีเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์มีความหนาชั้นเคลือบมากกว่ากรณีเติมซิลิกอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์แต่มีความหนาชั้นเคลือบน้อยกว่ากรณีเติมซิลิกอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์คาดว่าอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักมีความสามารถในการรีดิวซ์วานาเดียมเพนตอกไซด์ (vanadium pentoxide, V_2O_5) ได้มากกว่าซิลิกอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแต่น้อยกว่าซิลิกอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

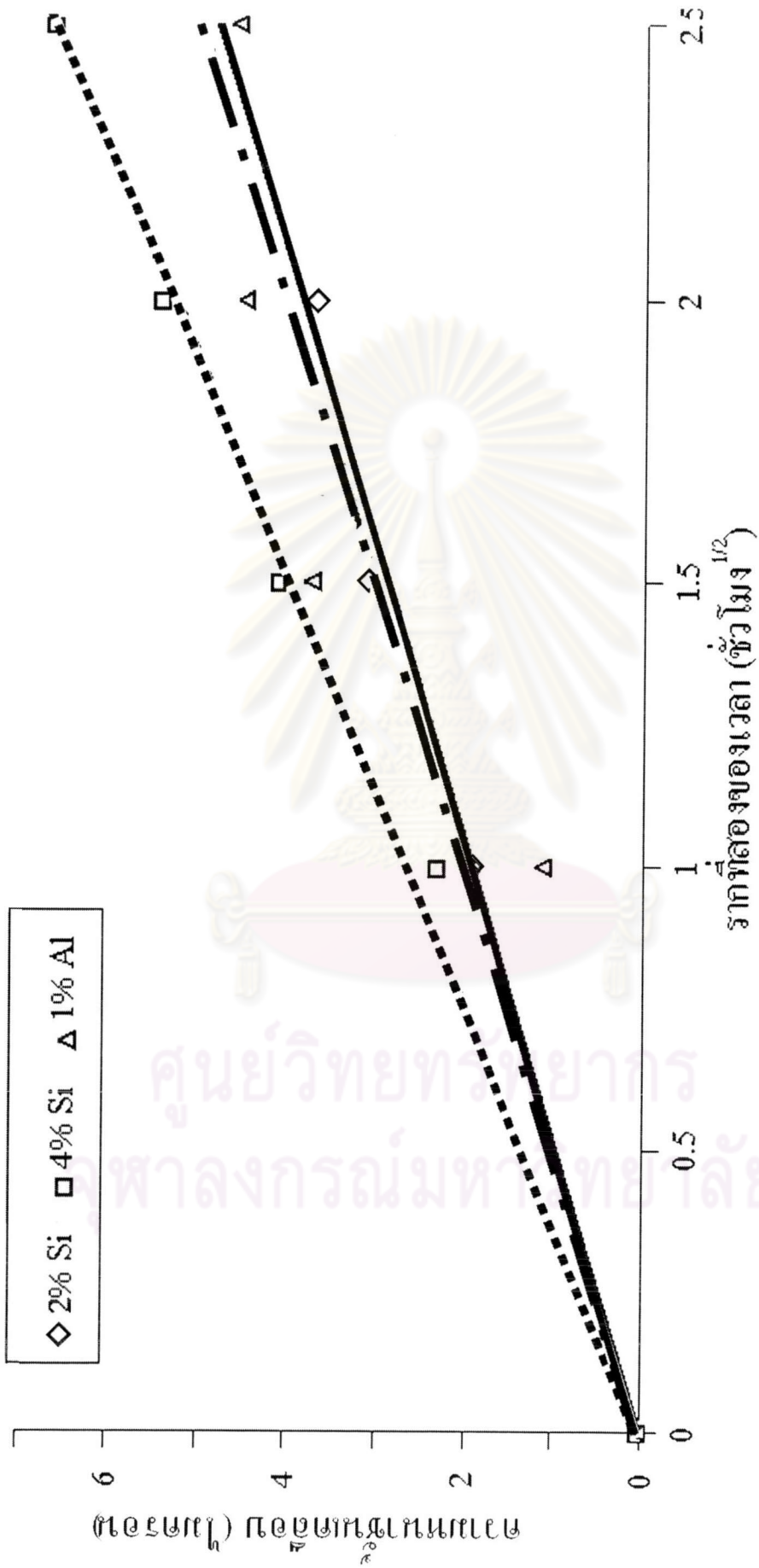
กรณีเติมซิลิกอน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์พบว่าที่เวลาการเคลือบ 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง 15 นาที (แสดงในรูปที่ 4.5) พบชั้นเคลือบที่มีลักษณะคล้ายฟีนลีสแต่ไม่สามารถแยกรอยต่อของชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานได้อย่างชัดเจนและความหนาชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบที่มากขึ้น ชั้นเคลือบที่พบมีลักษณะแตกต่างกับกรณีเติมซิลิกอน 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์คาดว่าชั้นเคลือบที่พบมีส่วนประกอบของเหล็กโบไรด์ (FeB และ Fe_2B) (8) การเกิดชั้นเหล็กโบไรด์เป็นเพราะปริมาณซิลิกอนที่ใช้เป็นรีดิวเซอร์มีปริมาณมากเกินความต้องการในการรีดิวซ์ออกไซด์สารซิลิกอนในส่วนที่เกินความต้องการจะไปรีดิวซ์โบรอนออกไซด์เกิดเป็นอะตอมโบรอนจำนวนมาก อะตอมโบรอนจะละลายอยู่ในบอแรกซ์หลอมเหลวทำให้โบรอนที่มีขนาดเล็กแพร่ซึมเข้าไปในเนื้อเหล็กและรวมตัวกับธาตุเหล็กเกิดเป็นชั้นเหล็กโบไรด์ขึ้นที่ผิวชิ้นงาน (5)

4.2 ผลของวิธีการเติมเฟอร์โรวานาเดียมและอุณหภูมิที่เติมเฟอร์โรวานาเดียม

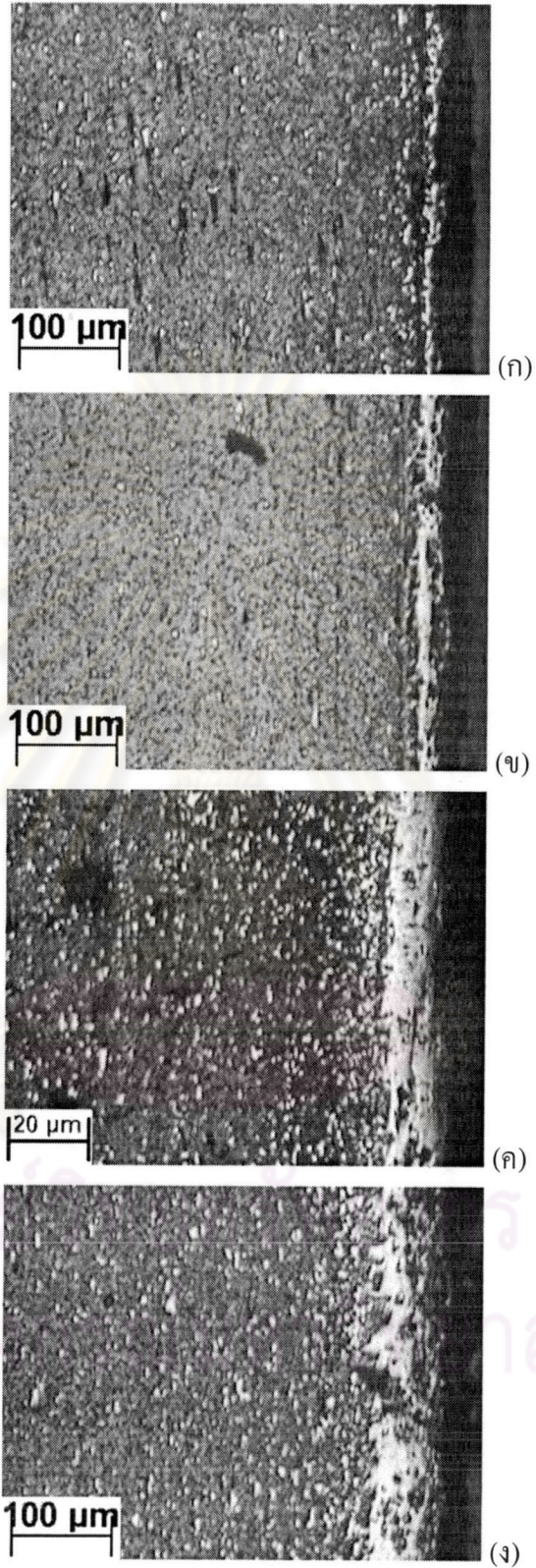
การเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น D2 โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนก่อนเติมเฟอร์โรวานาเดียมเมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนด เติมรีดิวเซอร์ตามชนิด



รูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชั้นกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานเนเดียม เป็นเวลา 5 นาทีและเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีคิวเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที



รูปที่ 4.4 ผลของความหนาแน่นที่สัมพันธ์กับรากที่สองของเวลา ที่เติมเฟอร์โรไวเทนเดียมในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวและทำการทากวเป็นเวลา 5 นาที



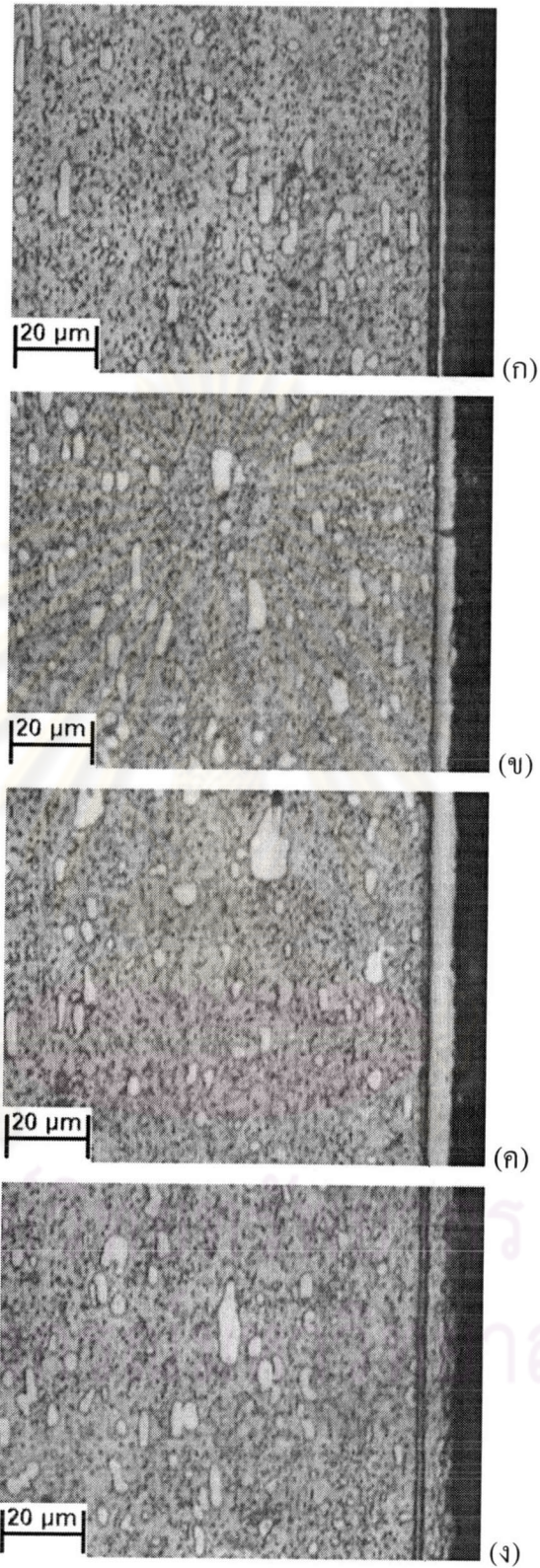
รูปที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงานกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานเดียมเป็นเวลา 5 นาทีและเติมซิลิคอน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีติวเซอร์ เคทีอบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที

และปริมาณที่ต้องการ มีผลการทดลองเคลือบผิวดังนี้

กรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่อุณหภูมิ 1000°C เติมซิลิคอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์พบว่าที่เวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง 15 นาทีได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 2.80, 3.99, 5.68 และ 6.62 ไมครอน ตามลำดับ ความหนาชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบที่มากขึ้น รูปที่ 4.6 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบพบว่ามีลักษณะเดียวกันกับชั้นเคลือบในกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวหลังจากที่เติมเฟอร์โรวานเนเดียมเป็นเวลา 5 นาทีโดยเติมซิลิคอน 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์ โดยที่ที่มีความหนาชั้นเคลือบมากกว่ากรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวหลังจากที่เติมเฟอร์โรวานเนเดียมเป็นเวลา 5 นาทีที่ใช้ซิลิคอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์แต่ใกล้เคียงกับกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวหลังจากที่เติมเฟอร์โรวานเนเดียมเป็นเวลา 5 นาทีที่ใช้ซิลิคอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์

กล่าวได้ว่าการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนจากนั้นเติมเฟอร์โรวานเนเดียมในขณะที่บอแรกซ์หลอมเหลวยังเป็นน้ำวนอยู่มีส่วนสำคัญในการป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของวานเนเดียมจากเฟอร์โรวานเนเดียมไปเป็นวานเนเดียมเพนตอกไซด์ (vanadium pentoxide, V_2O_5) ทั้งนี้เป็นเพราะวานเนเดียมจากเฟอร์โรวานเนเดียมที่เติมลงในเคลือบบอแรกซ์หลอมเหลวไม่ได้ละลายในรูปอะตอมวานเนเดียมอิสระโดยตรงแต่ละลายอยู่ในรูปของวานเนเดียมออกไซด์ซึ่งมีอยู่ 2 รูปคือวานเนเดียมเพนตอกไซด์ (vanadium pentoxide, V_2O_5) เป็นออกไซด์ที่มีเสถียรภาพสูงมีค่าพลังงานอิสระในการเกิดออกไซด์เท่ากับ -124 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมลของวานเนเดียม และวานเนเดียมไตรออกไซด์ (vanadium trioxide, V_2O_3) เป็นออกไซด์ที่มีเสถียรภาพต่ำมีพลังงานอิสระในการเกิดออกไซด์เท่ากับ -109 กิโลแคลอรีต่อกรัมโมลของวานเนเดียม แต่การที่จะเกิดชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ได้นั้นวานเนเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวจะต้องอยู่ในรูปวานเนเดียมไตรออกไซด์หรือวานเนเดียมอิสระ (nascent V) ก่อนจึงจะรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนที่แพร่ซึมจากเนื้อเหล็กได้ (5, 9)

กรณีการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่อุณหภูมิ 900°C แซ่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์และใส่ชิ้นงานพบว่าที่เวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง 15 นาทีได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 2.59, 4.61, 5.30 และ 7.24 ไมครอนตามลำดับ รูปที่ 4.7 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบพบว่ามีลักษณะเดียวกันกับชั้นเคลือบในกรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวหลังจากที่เติมเฟอร์โรวานเนเดียมเป็นเวลา 5 นาทีโดยเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์ โดยที่ที่มีความ



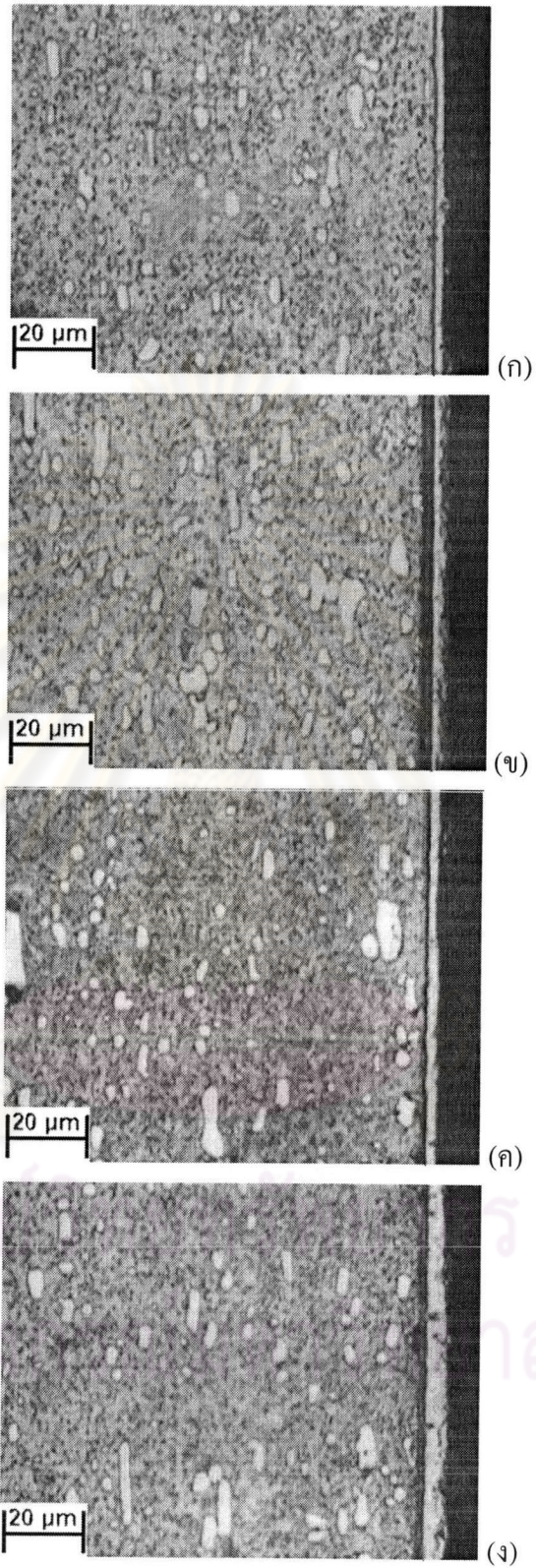
รูปที่ 4.6 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงาน โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 1000°C เติมซิลิกอน 2 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเป็นรีคิวเซอร์ และเคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที

หนามากกว่ากรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวหลังจากที่เดิมเฟอร์โรวานเดียมเป็นเวลา 5 นาทีที่ใช้ อะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์

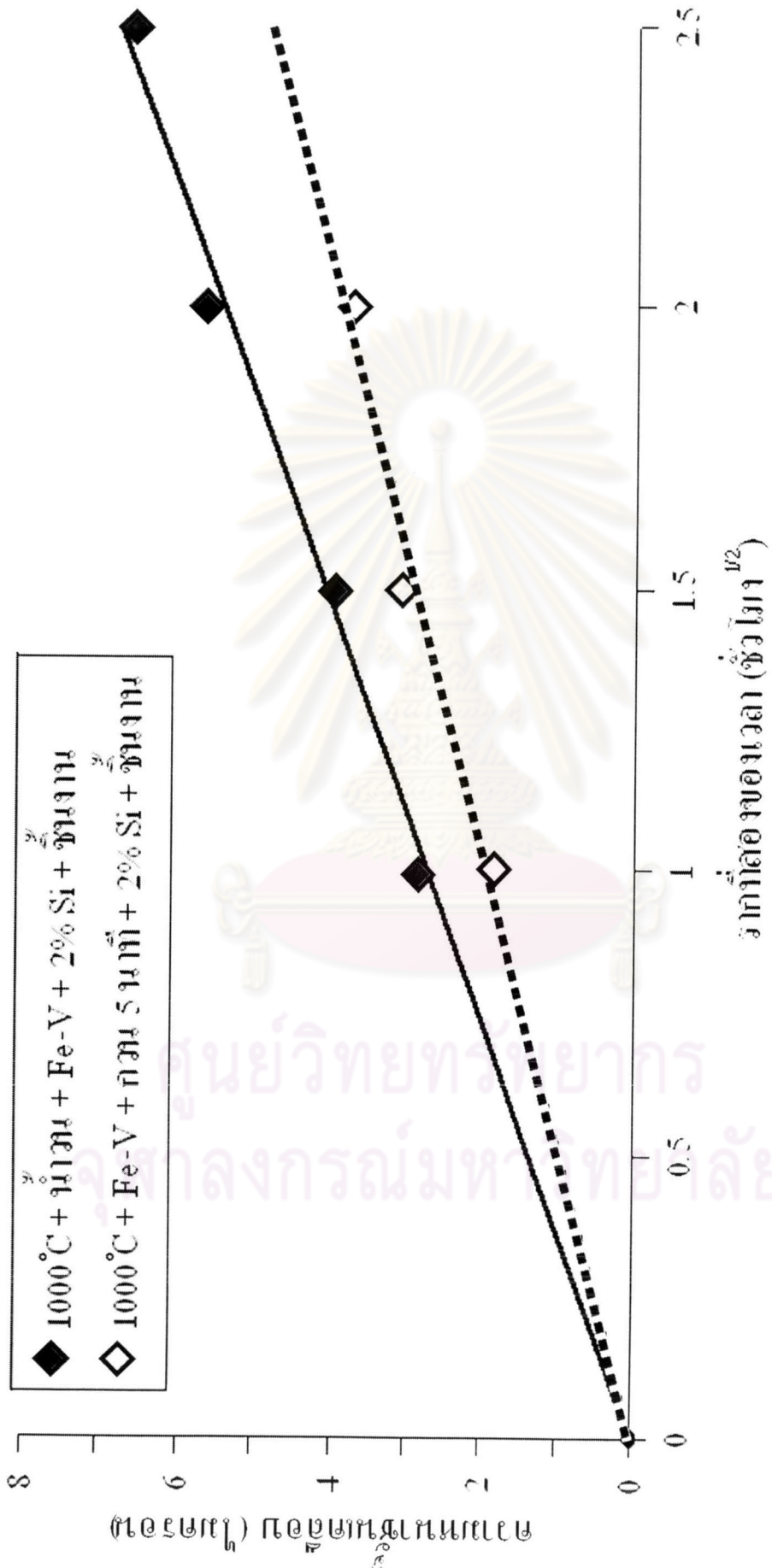
รูปที่ 4.8 และ 4.9 กรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนจากนั้นเดิมเฟอร์โรวานเดียมมีความหนาชั้นเคลือบมากกว่ากรณีที่เดิมเฟอร์โรวานเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวทำการกวนเป็นเวลา 5 นาที คาดว่าการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนจากนั้นเดิมเฟอร์โรวานเดียมมีส่วนสำคัญในการป้องกันการเกิดกระบวนการออกซิเดชันของวานเดียมจากเฟอร์โรวานเดียมไป V_2O_5 และช่วยเพิ่มปริมาณ V_2O_3 ที่ละลายอยู่ในบอแรกซ์หลอมเหลวจึงได้ความหนาชั้นเคลือบมากกว่าการเดิมเฟอร์โรวานเดียมแล้วกวนเป็นเวลา 5 นาที

กรณีการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่อุณหภูมิ 900°C จากนั้นเดิมเฟอร์โรวานเดียมในขณะที่บอแรกซ์หลอมเหลวยังเป็นน้ำวนอยู่ แช่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C ใส่ชิ้นงาน หลังจากแช่ชิ้นงานในบอแรกซ์หลอมเหลวที่เดิมเฟอร์โรวานเดียมเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาทีเดิมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์ พบว่าที่เวลาเคลือบผิว 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที (ไม่เดิมรีดิวเซอร์) ได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 2.32 และ 3.99 ไมครอนตามลำดับ ที่เวลาการเคลือบผิว 3 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง 30 นาที, 6 ชั่วโมง 15 นาทีและ 8 ชั่วโมง 30 นาที (หลังจากเดิมรีดิวเซอร์ 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง 15 นาที) ได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 4.04, 5.81, 6.47 และ 9.26 ไมครอนตามลำดับ ความหนาชั้นเคลือบเพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบที่มากขึ้นและที่เวลาการเคลือบผิวช่วงไม่เดิมรีดิวเซอร์มีชั้นเคลือบเกิดขึ้น รูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 แสดงโครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบพบว่าชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นที่เวลาการเคลือบผิวช่วงไม่เดิมรีดิวเซอร์มีลักษณะเดียวกันกับชั้นเคลือบที่เวลาการเคลือบผิวช่วงที่เดิมรีดิวเซอร์ คาดว่าการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนจากนั้นเดิมเฟอร์โรวานเดียมเป็นการกวนให้เฟอร์โรวานเดียมฟุ้งในบอแรกซ์หลอมเหลวแล้วแช่ไว้ให้ค่อยๆ เกิดกระบวนการออกซิเดชัน วานเดียมออกไซด์ที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป V_2O_3 ซึ่งสามารถรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนเป็นชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ได้เลย ดังนั้นสามารถเคลือบผิวชิ้นงานโดยไม่เดิมรีดิวเซอร์

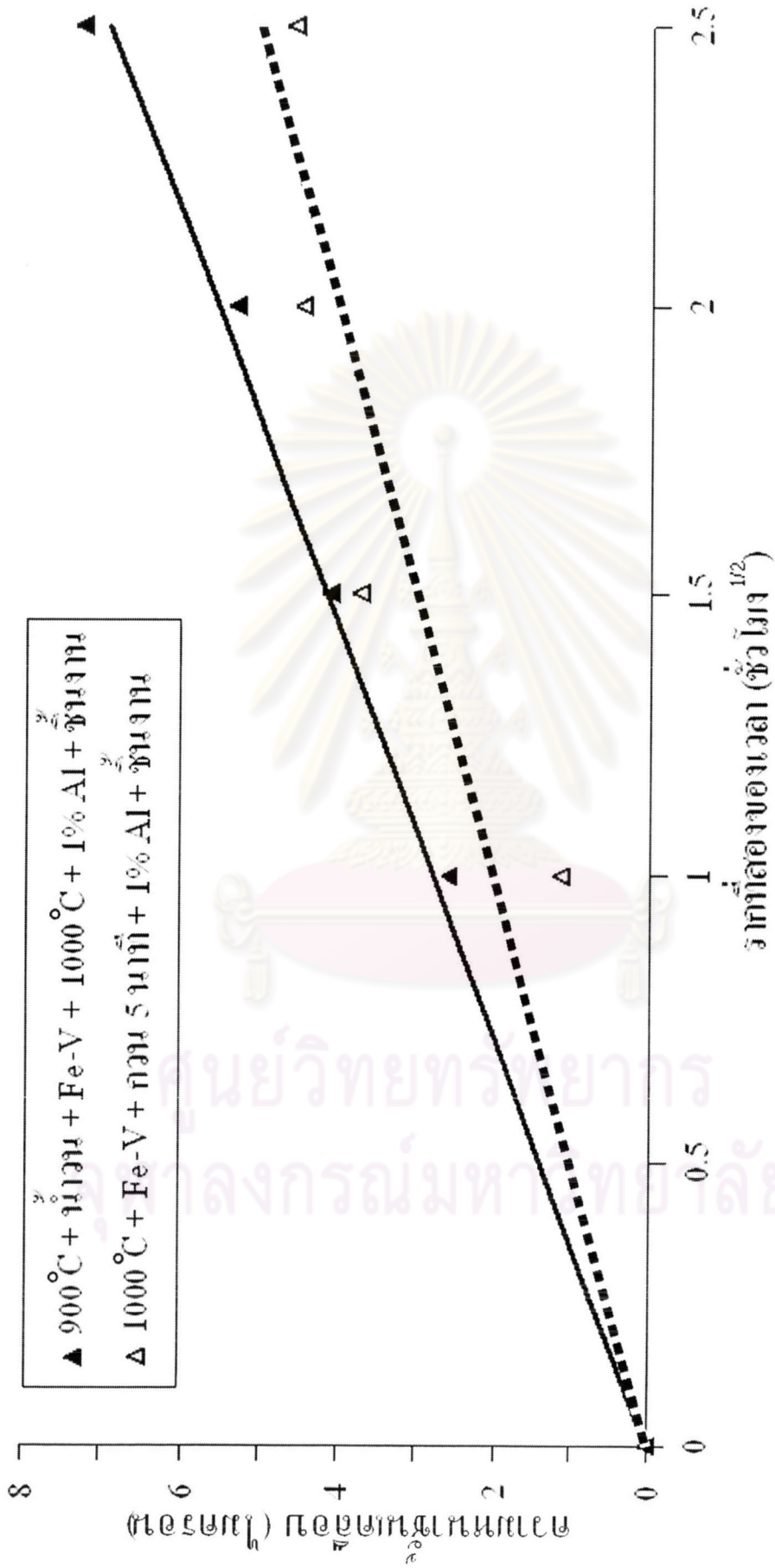
กรณีการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่อุณหภูมิ 900°C ใส่ชิ้นงาน 2 ชิ้น แช่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C ใส่ชิ้นงานอีก 6 ชิ้น หลังจากทำการเคลือบผิวชิ้นงานเป็นเวลาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที (ทำการจับเวลาเมื่ออุณหภูมิถึง อุณหภูมิ 1000°C) เดิมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์และใส่ชิ้นงาน 4 ชิ้น พบว่าชิ้นงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิถึง 900°C ที่เวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมง และ 2 ชั่วโมง 15 นาทีได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 1.75 และ 4.71 ไมครอนตามลำดับ ชิ้นงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิ 1000°C ที่เวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมงได้ความหนาชั้นเคลือบ



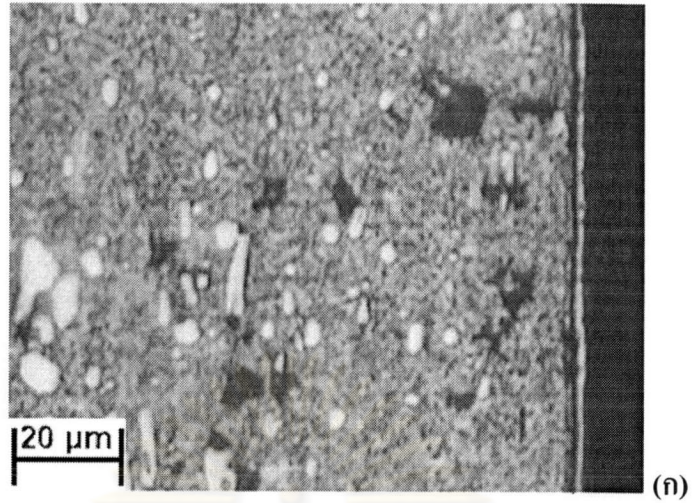
รูปที่ 4.7 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของ โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แะทิ้งไว้จนอุณหภูมิตั้ง 1000°C เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที



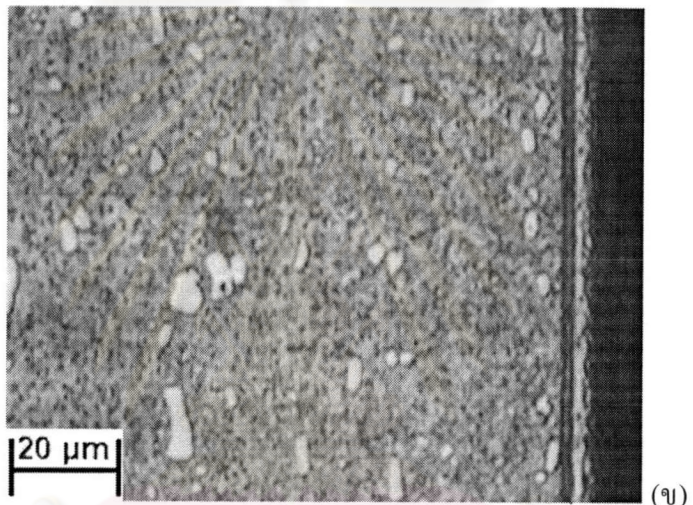
รูปที่ 4.8 ความหนาแน่นเคลื่อนที่ปรากับเวลาที่สองของเวลาในการเคลื่อนที่ ที่ทำการเปลี่ยนแปลงวิธีการเติมเฟอร์โรวานเดียม โดยใช้ซิลิคอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์



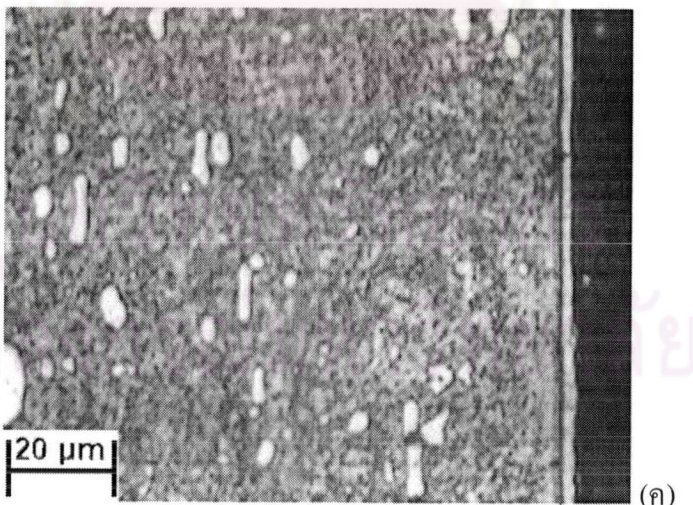
รูปที่ 4.9 ความหนาแน่นเหล็กที่สารถักที่สองของเวลาในการเคลือบผิว ที่ทำการเปลี่ยนแปลงวิธี การเติมเฟอร์โรวานเดียม โดยใช้ละอุนีเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์



(ก)

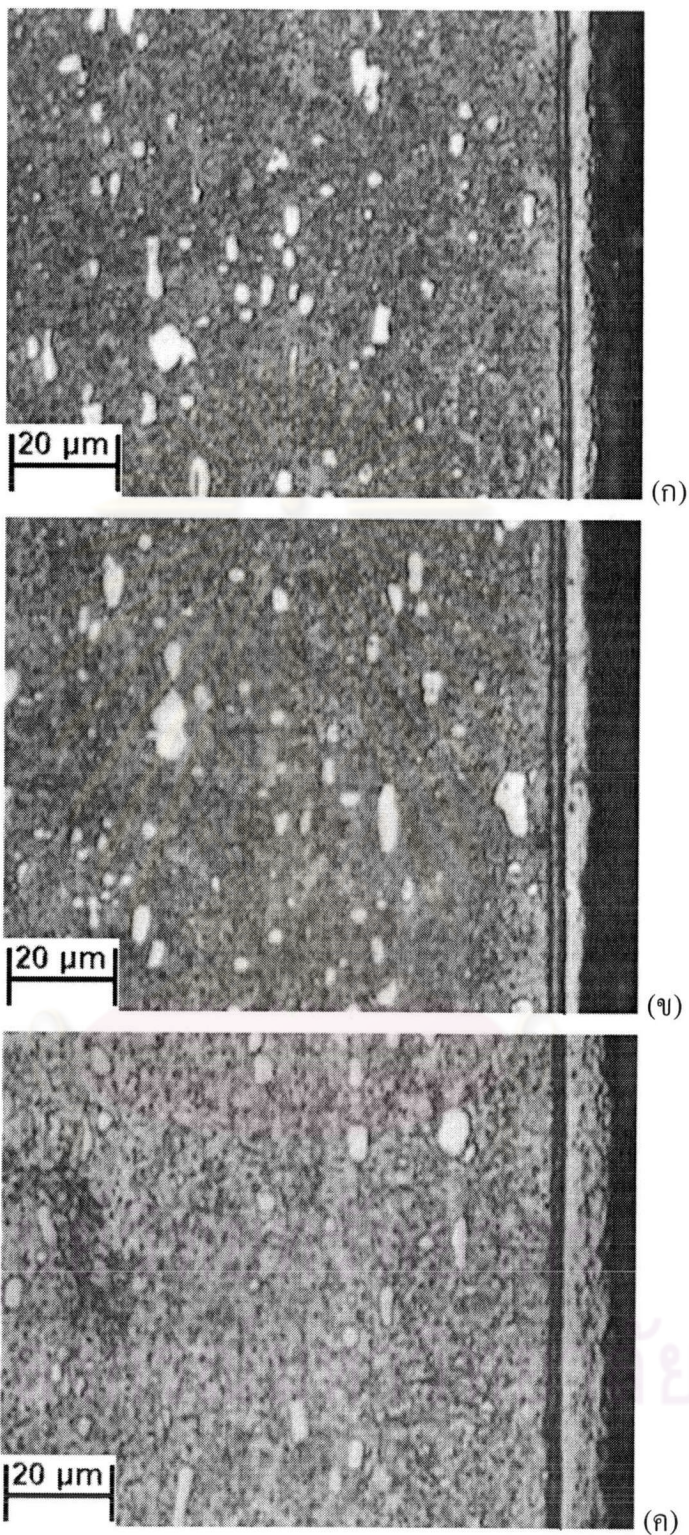


(ข)



(ค)

รูปที่ 4.10 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชั้นงาน โดยกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แซ่ไว้จนอุณหภูมิ 1000°C ใส่ชั้นงาน เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีคิวเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ค) 3 ชั่วโมง 15 นาที

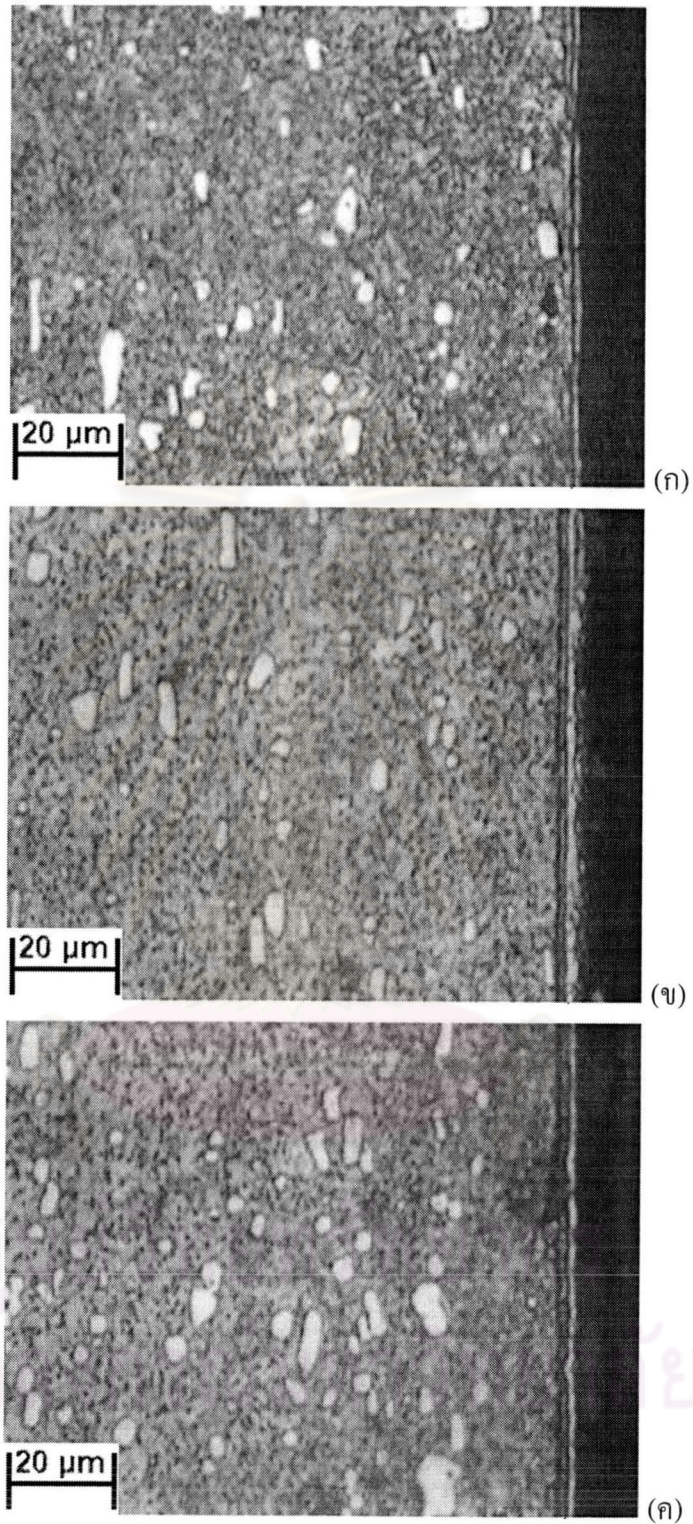


รูปที่ 4.11 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงาน โดยกวนบอแร็กซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แซ่ไว้จนอุณหภูมิ 1000°C แล้วใส่ชิ้นงาน เคลือบผิวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์ เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 4 ชั่วโมง 30 นาที และ (ข) 6 ชั่วโมง 15 นาที และ (ค) 8 ชั่วโมง 30 นาที

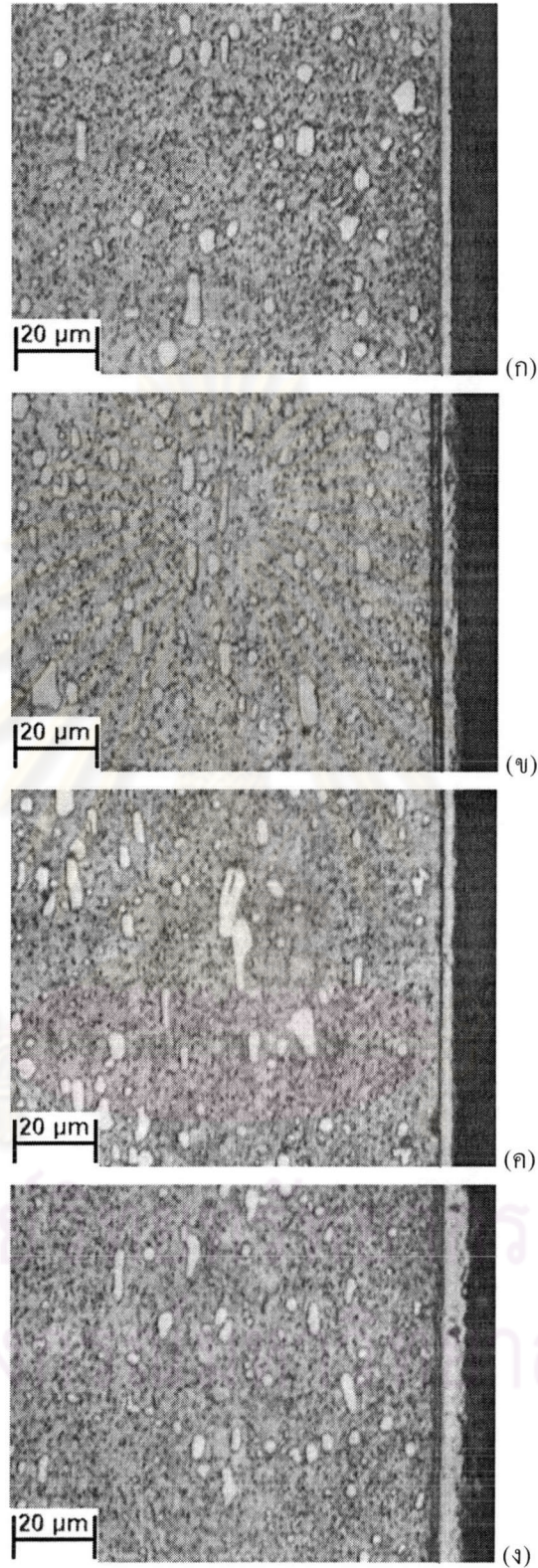
เท่ากับ 1.75 ไมครอน ซึ่งงานที่ใส่หลังจากเดมรีคิวเซอร์ 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมงและ 6 ชั่วโมง 15 ได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับ 3.85, 4.44, 5.00 และ 5.43 ไมครอนตามลำดับ ส่วนงานที่เวลาเคลือบผิวนอกเหนือจากที่ได้กล่าวมาไม่เกิดชั้นเคลือบ (ซึ่งงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิถึง 1000°C ที่เวลาเคลือบผิวที่ 2 ชั่วโมง 15 นาที (ก่อนเดมรีคิวเซอร์), (หลังเดมรีคิวเซอร์) ที่เวลาเคลือบผิว 3 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง 30 นาที, 6 ชั่วโมง 15 นาทีและ 8 ชั่วโมง 30 นาที) คาดว่าอาจเกิดชั้นออกไซด์ขึ้นที่บริเวณผิวซึ่งงานก่อนที่ใส่ซึ่งงาน ชั้นออกไซด์ที่เกิดขึ้นไปขัดขวางการเกิดชั้นเคลือบที่ผิวซึ่งงาน ทำให้ซึ่งงานไม่เกิดชั้นเคลือบ ซึ่งงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิถึง 1000°C ที่เวลาเคลือบผิว 1 ชั่วโมงได้ความหนาชั้นเคลือบเท่ากับซึ่งงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิ 900°C (ก่อนเดมรีคิวเซอร์) คาดว่าเมื่อทำการเคลือบผิวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 1000°C ชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นมีความหนาน้อยมากความหนาชั้นเคลือบที่วัดได้จึงเท่ากัน ในรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 แสดง โครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบพบว่าชั้นเคลือบที่เกิดขึ้นที่เวลาการเคลือบผิวช่วงไม่เดมรีคิวเซอร์มีลักษณะเดียวกันกับชั้นเคลือบที่เวลาการเคลือบผิวช่วงที่เดมรีคิวเซอร์

รูปที่ 4.14 กรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C จากนั้นเติมเฟอร์โรวานเดียมแซ่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C เปรียบเทียบการเดมรีคิวเซอร์ (1% Al) และไม่เดมรีคิวเซอร์พบว่ามีความหนาชั้นเคลือบใกล้เคียงกัน คาดว่าการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C จากนั้นเติมเฟอร์โรวานเดียมแซ่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C การกวนให้เฟอร์โรวานเดียมฟุ้งในบอแรกซ์หลอมเหลวแล้วแซ่ไว้ให้ค่อยๆ เกิดกระบวนการออกซิเดชัน วานเดียมออกไซด์ที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป V_2O_3 ซึ่งสามารถรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนเป็นชั้นเคลือบวานเดียมคาร์ไบด์ได้เลย ดังนั้นการเดมรีคิวเซอร์ (1% Al) ไม่มีผลกับความเร็วในการเคลือบผิวซึ่งงาน

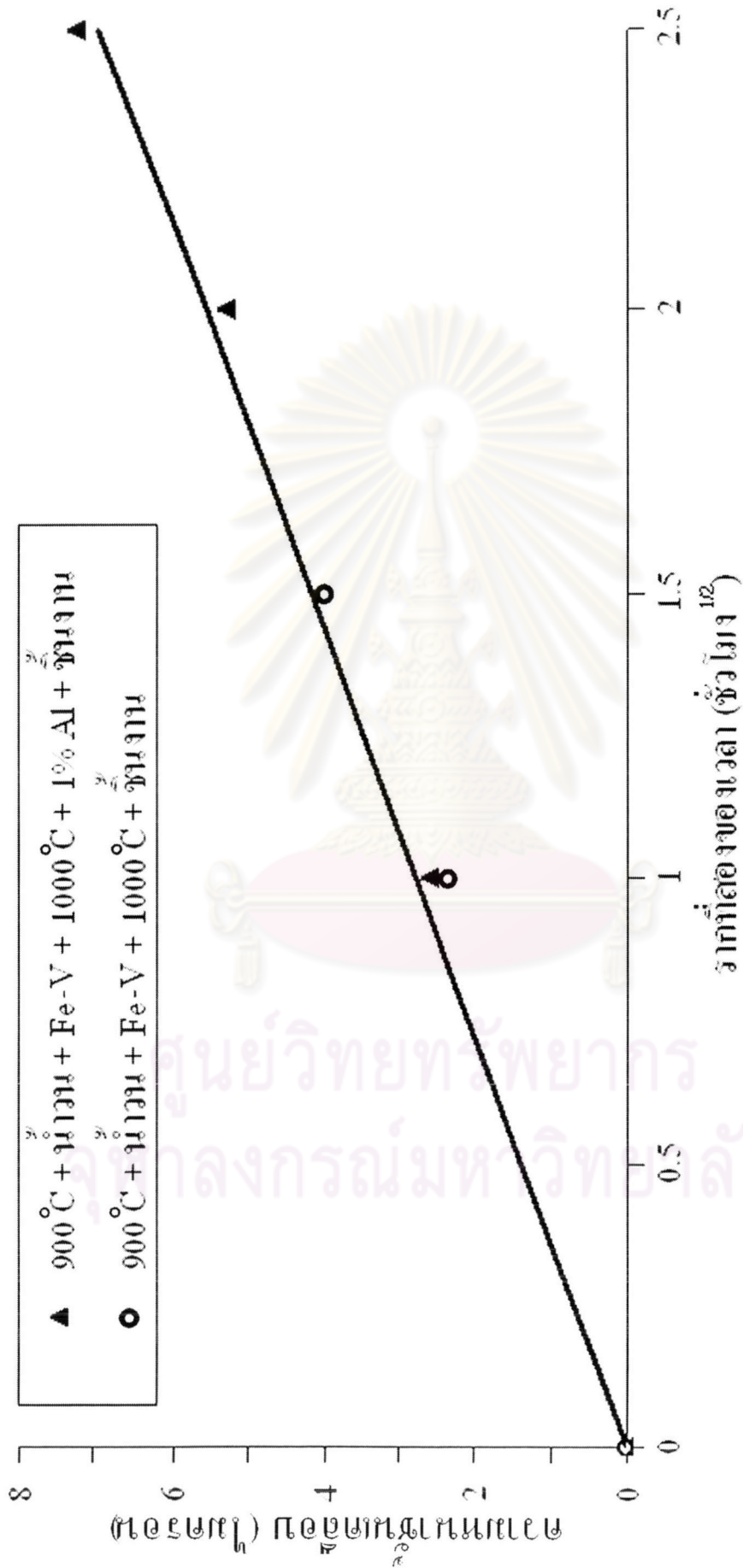
รูปที่ 4.15 กรณีกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C จากนั้นเติมเฟอร์โรวานเดียมแซ่ไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาทีเดมรีคิวเซอร์ (1% Al) และใส่ซึ่งงาน พบว่าความเร็วในการเคลือบผิวที่ช่วงเวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมงมีมากกว่าช่วงเวลาการเคลือบผิวมากกว่า 1 ชั่วโมง คาดว่าการแซ่ไว้ให้ค่อยๆ เกิดกระบวนการออกซิเดชัน วานเดียมออกไซด์ที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป V_2O_3 จึงมีปริมาณ V_2O_3 ในช่วงเวลาการเคลือบผิว 1 ชั่วโมงแรกอยู่เป็นจำนวนมากแต่เวลาการเคลือบผิวมากกว่า 1 ชั่วโมงความเร็วในการเคลือบผิวลดลงเนื่องจากในขณะแซ่เฟอร์โรวานเดียมไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาทีได้มีการใส่ซึ่งงานเพื่อหาขนาดชั้นเคลือบจึงทำให้วานเดียมถูกใช้ไปกับการเคลือบผิวในขณะที่แซ่เฟอร์โรวานเดียมไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที และหลังจากแซ่เฟอร์โรวานเดียมตามเวลาที่กำหนดได้ทำการทดลองเคลือบผิวซึ่งงานต่อดังนั้นปริมาณวานเดียมในบอแรกซ์หลอมเหลวลดลงเรื่อยๆ จนส่งผลให้ปริมาณ V_2O_3 ลดลงเมื่อทำการ



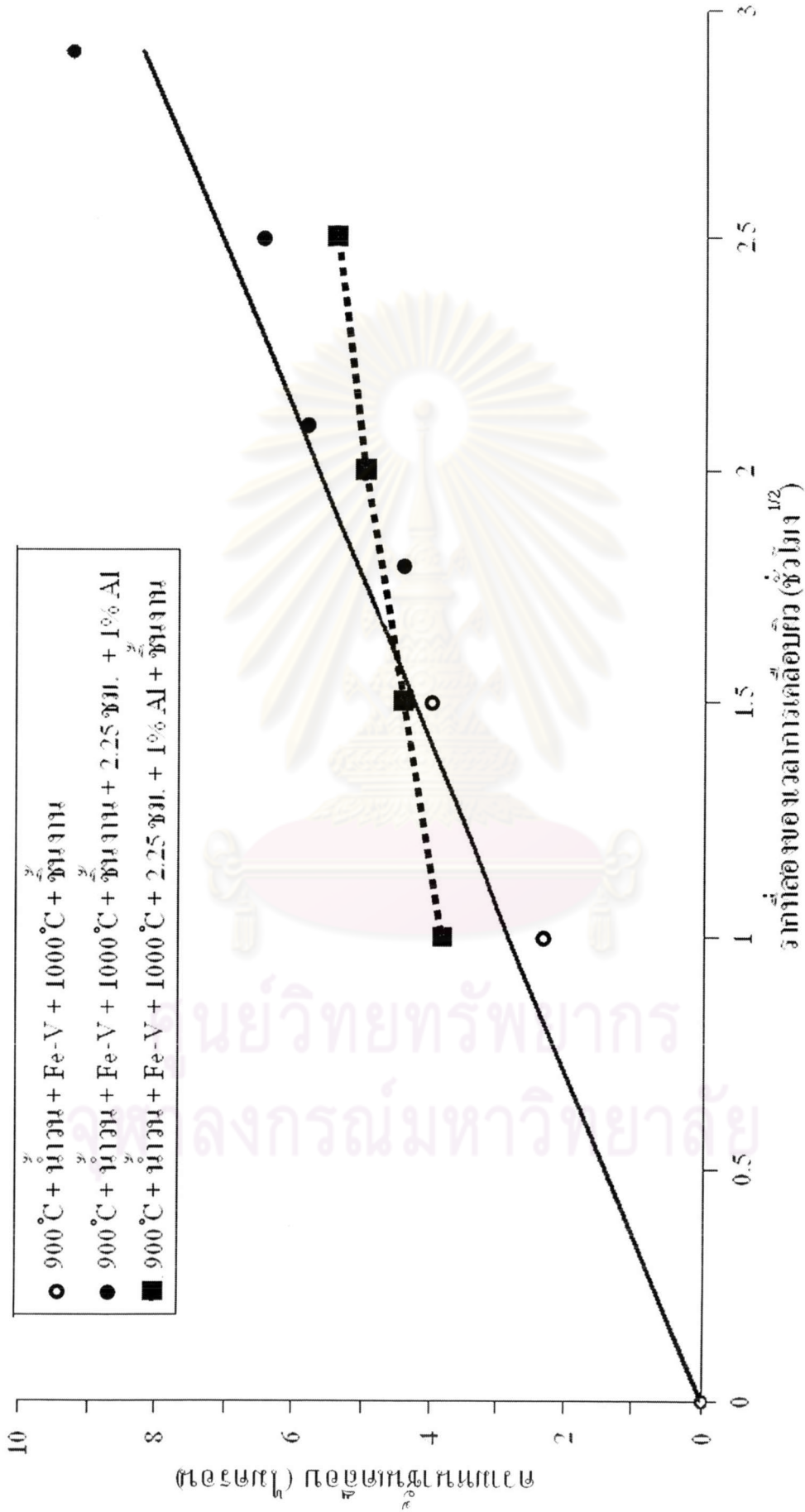
รูปที่ 4.12 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของผิวชิ้นงาน โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แล้วใส่ชิ้นงาน แช่ทิ้งไว้จนอุณหภูมิถึง 1000°C ใส่ชิ้นงาน ชิ้นงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิ 900°C เคลือบผิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที และชิ้นงานที่ใส่เมื่ออุณหภูมิถึง 1000°C เคลือบผิวเป็นเวลา (ค) 1 ชั่วโมง



รูปที่ 4.13 โครงสร้างจุลภาคบริเวณภาคตัดขวางของฟิวรีซิงงาน โดยทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แช่ไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที จึงเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิคเซอร์ แล้วใส่ซิงงาน และเคลือบฟิวเป็นเวลา (ก) 1 ชั่วโมง (ข) 2 ชั่วโมง 15 นาที (ค) 4 ชั่วโมง และ (ง) 6 ชั่วโมง 15 นาที



รูปที่ 4.14 ความหนาแน่นเคลือบกับเวลาที่สองของเวลาในการเคลือบผิว ที่ทำการควบคุมบอแรกซ์ลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C จากนั้นเติมเฟอร์โรวานเดียม โดยปริมาตรที่เติม 1 เดิมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และไม่เติมอะลูมิเนียม



รูปที่ 4.15 ความหนาแน่นเคลื่อนที่ของเวลาในการเคลื่อนที่ที่ทำการควบคุมอุณหภูมิเป็นน้ำวนที่ 900°C จาก
 นั้นเติมเฟอร์โรวาเนเดียม ซึ่งทำการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ใช้งานและการเติมรีดิวเซอร์

เคลือบผิวมากกว่า 1 ชั่วโมง ผลคือความเร็วในการเคลือบผิวที่เวลาการเคลือบผิวมากกว่า 1 ชั่วโมงลดลง

รูปที่ 4.15 กระจกทาบอบแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C จากนั้นเติมเฟอร์โรวานเนเดียมแซ่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C ใส่ชิ้นงานเคลือบผิวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาทีเติมรีดิวเซอร์ พบว่าความเร็วในการเคลือบผิวก่อนเติมรีดิวเซอร์และหลังเติมรีดิวเซอร์ (1% Al) ไม่มีการเปลี่ยนแปลง เป็นการยืนยันผลสรุปจากรูป 4.14 การเติมรีดิวเซอร์ (1% Al) ในการทดลองนี้ไม่มีผลกับความเร็วในการเคลือบผิวเนื่องจากวานเนเดียมออกไซด์ที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูป V_2O_3 ซึ่งสามารถรวมตัวกับอะตอมคาร์บอนเป็นชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ได้

4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลอง

ผลการเคลือบผิวชิ้นงาน ที่ทำการทาบอบแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานเนเดียมทาบเป็นเวลา 5 นาที เติมซิลิคอน 2 และ 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์ ทำการเคลือบผิวตั้งแต่ 1 ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาทีพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ผลการเคลือบผิวชิ้นงาน ที่ทำการทาบอบแรกซ์หลอมเหลวที่เติมเฟอร์โรวานเนเดียมทาบเป็นเวลา 5 นาที เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ทำการเคลือบผิวตั้งแต่ 1 ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาทีพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.4

ผลการเคลือบผิวชิ้นงาน ที่ทำการทาบอบแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 1000°C เติมซิลิคอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์ ทำการเคลือบผิวตั้งแต่ 1 ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาทีพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.8

ผลการเคลือบผิวชิ้นงาน ที่ทำการทาบอบแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แซ่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์ ทำการเคลือบผิวตั้งแต่ 1 ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาทีพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.9

ผลการเคลือบผิวชิ้นงาน ที่ทำการทาบอบแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C แซ่ไว้จนถึงอุณหภูมิ 1000°C ใส่ชิ้นงาน ทำการเคลือบผิวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิวเซอร์ ทำการเคลือบถึง 8 ชั่วโมง 30 นาที พบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ผลการเคลือบผิวชิ้นงาน ที่ทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900°C ใส่ชิ้นงาน แซ่ไว์จนอุณหภูมิถึง 1000°C ใส่ชิ้นงาน 2 ชิ้นเคลือบผิวเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที เติม อะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิทเซอร์ ใส่ชิ้นงานอีก 4 ชิ้น ทำการเคลือบผิวถึง 8 ชั่วโมง 30 นาทีพบว่าความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์เพิ่มขึ้นตามเวลาการเคลือบผิว ดังแสดงในรูปที่ 4.15

ความหนาชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ที่วัดได้จากการทดลองนี้เพิ่มขึ้นตามเวลา การเคลือบผิวที่เพิ่มมากขึ้นและยังเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตามรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบผิว ดังแสดง ในรูปที่ 4.4, 4.8, 4.9, 4.14 และ 4.15 แสดงว่าการเพิ่มความหนาของชั้นเคลือบวานเนเดียมคาร์ไบด์ เป็นกระบวนการที่ถูกควบคุมด้วยการแพร่ซึม (diffusion control) โดยสามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ซึม (K) จากการทดลองได้จากการคำนวณค่าความชันของกราฟที่พล็อตระหว่าง ความหนา ชั้นเคลือบกับรากที่ 2 ของเวลาการเคลือบ ในรูปที่ 4.4, 4.8, 4.9, 4.14 และ 4.15

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ} \quad K &= d^2/t \\ K^{1/2} &= d/t^{1/2} = \text{ความชันของกราฟ} \\ K &= (\text{ความชันของกราฟ})^2 \end{aligned}$$

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลองการเคลือบผิวด้วยวานเนเดียม คาร์ไบด์ แสดงในตารางที่ 4.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K) ที่ได้จากการทดลอง

กรณีการทดลอง	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ซึม (K), $\text{cm}^2/\text{sec} \times 10^7$
ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาที ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เดิมเฟอร์โรวานเดียม โดยใช้อะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์	2.00
ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาที ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เดิมเฟอร์โรวานเดียม โดยใช้ซิลิกอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์	1.93
ทำการกวนเป็นเวลา 5 นาที ในอ่างเกลือบอแรกซ์หลอมเหลวที่เดิมเฟอร์โรวานเดียม โดยใช้ซิลิกอน 4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์	2.65
ทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900 °C เดิมเฟอร์โรวานเดียม แซ่ทิ้งไว้จนอุณหภูมิถึง 1000 °C ก่อนที่จะเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์	2.77
ทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 1000 °C จากนั้นเดิมเฟอร์โรวานเดียมเดิมซิลิกอน 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์	2.72
ทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900 °C จากนั้นเดิมเฟอร์โรวานเดียมใส่ชิ้นงาน เกลือบผิวเป็นเวลาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที จึงเติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์	2.97
ทำการกวนบอแรกซ์หลอมเหลวจนเป็นน้ำวนที่ 900 °C จากนั้นเดิมเฟอร์โรวานเดียม แซ่ทิ้งไว้เป็นเวลา 2 ชั่วโมง 15 นาที เติมอะลูมิเนียม 1 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเป็นรีดิเวเซอร์ ใส่ชิ้นงาน	2.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย