

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการอภิปราย

#### 4.1 ความหนาชั้นเคลือบ

การเคลือบผิวบนชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือ DC53 โดยใช้วาเนเดียมเพนทอกไซด์ และไนโอเบียมเพนทอกไซด์เป็นสารให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์กับโบรอนคาร์ไบด์ในฐานะตัววิเศษที่อุณหภูมิ  $1000^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 1 ชั่วโมงถึง 6 ชั่วโมง 15 นาที โดยแปรผันปริมาณสัดส่วนสารที่ให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์

##### 4.1.1 ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 5 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

ความหนาของชั้นเคลือบที่ได้หนาเพิ่มขึ้นตามเวลาเคลือบที่เพิ่มขึ้น ที่เวลาเคลือบ 1 ชั่วโมง , 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง 15 นาที ให้ความหนาชั้นเคลือบเป็น 2.3 ไมครอน, 3.7 ไมครอน, 5.7 ไมครอน และ 7.3 ไมครอนตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.1 ชั้นเคลือบจะมีความหนาเพิ่มขึ้นตามปริมาณเวลาการแพร่ซึมของธาตุคาร์บอนในเนื้อชิ้นงานที่มารวมกับธาตุฟอร์มคาร์ไบด์ในบ่อแรกซ์หลอมเหลวเกิดเป็นชั้นเคลือบวาเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่บริเวณผิวของชิ้นงาน โครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบ (V,Nb)C แสดงในรูปที่ 4.2

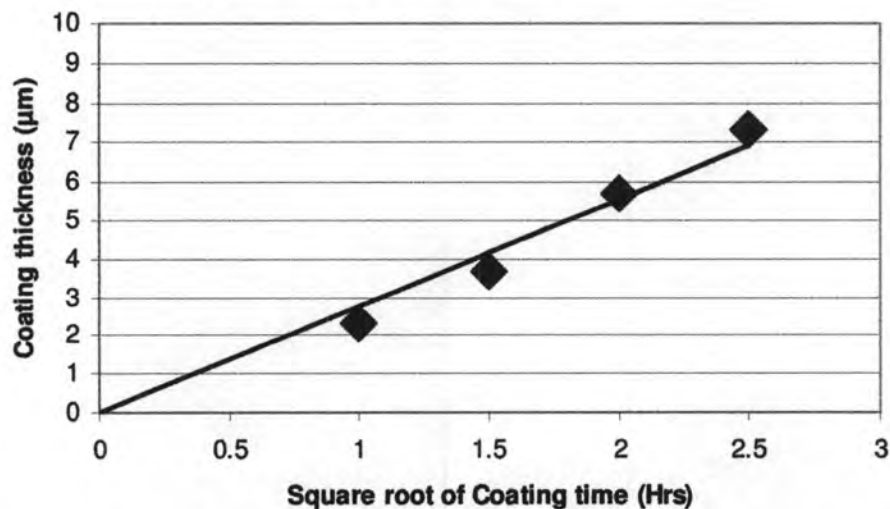


Fig. 4.1 Relationship of coating layer thickness and immersion time from bath coating  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass%

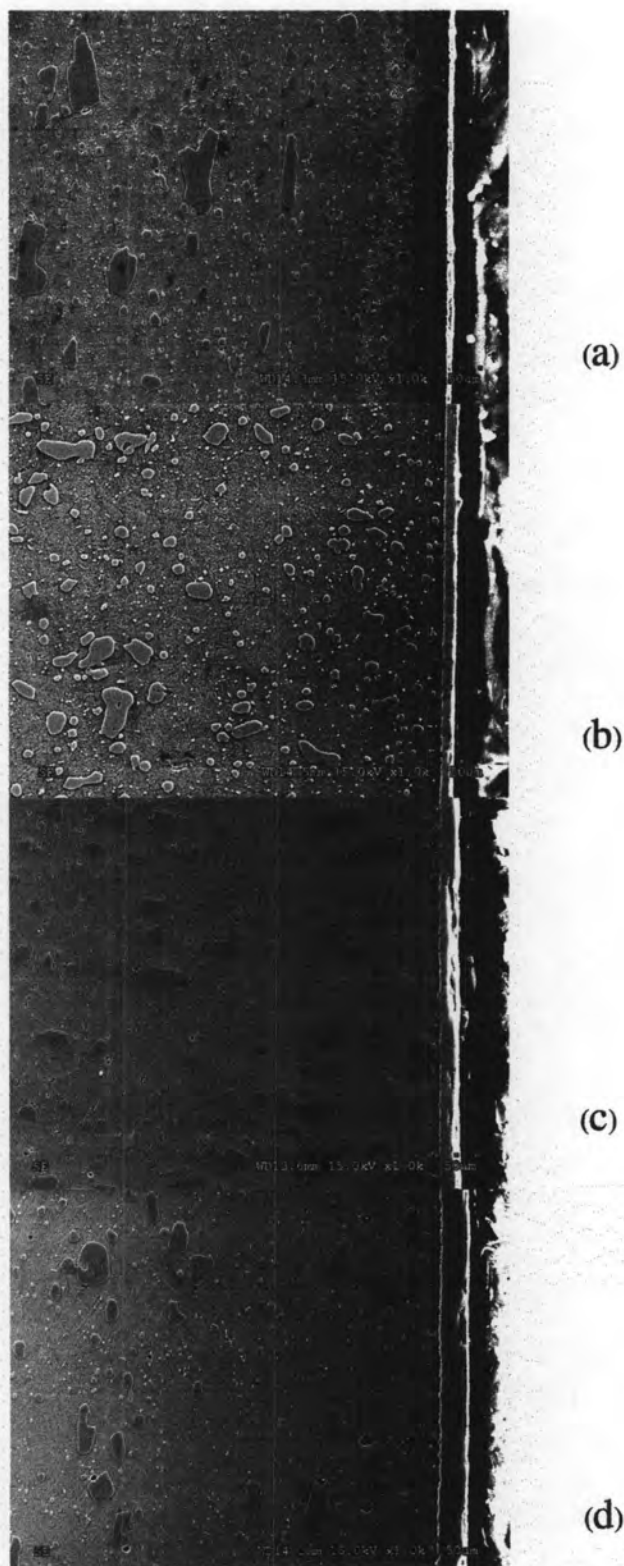


Fig. 4.2 Effect of immersion time on layer thickness from bath coating  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass% for (a) 1 hour (b) 2 hours 15 minutes (c) 4 hours and (d) 6 hours 15 minutes

#### 4.1.2 ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

ความหนาของชั้นเคลือบที่ได้หนาเพิ่มขึ้นตามเวลาเคลือบที่เพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง 15 นาที จะได้ความหนา 2.5 ไมครอน, 4.0 ไมครอน, 5.9 ไมครอน และ 6.8 ไมครอนตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.3 โครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบ (V,Nb)C แสดงในรูปที่ 4.4

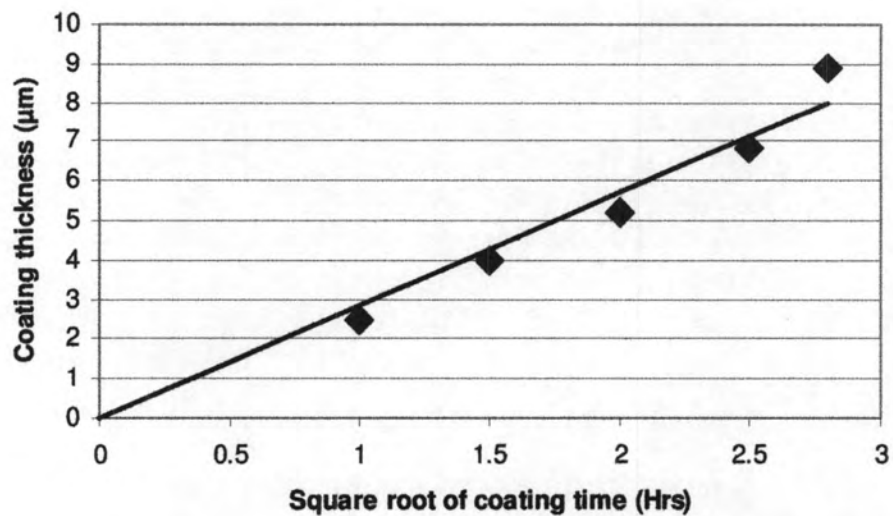


Fig. 4.3 Relationship of coating layer thickness and immersion time from bath coating  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass%

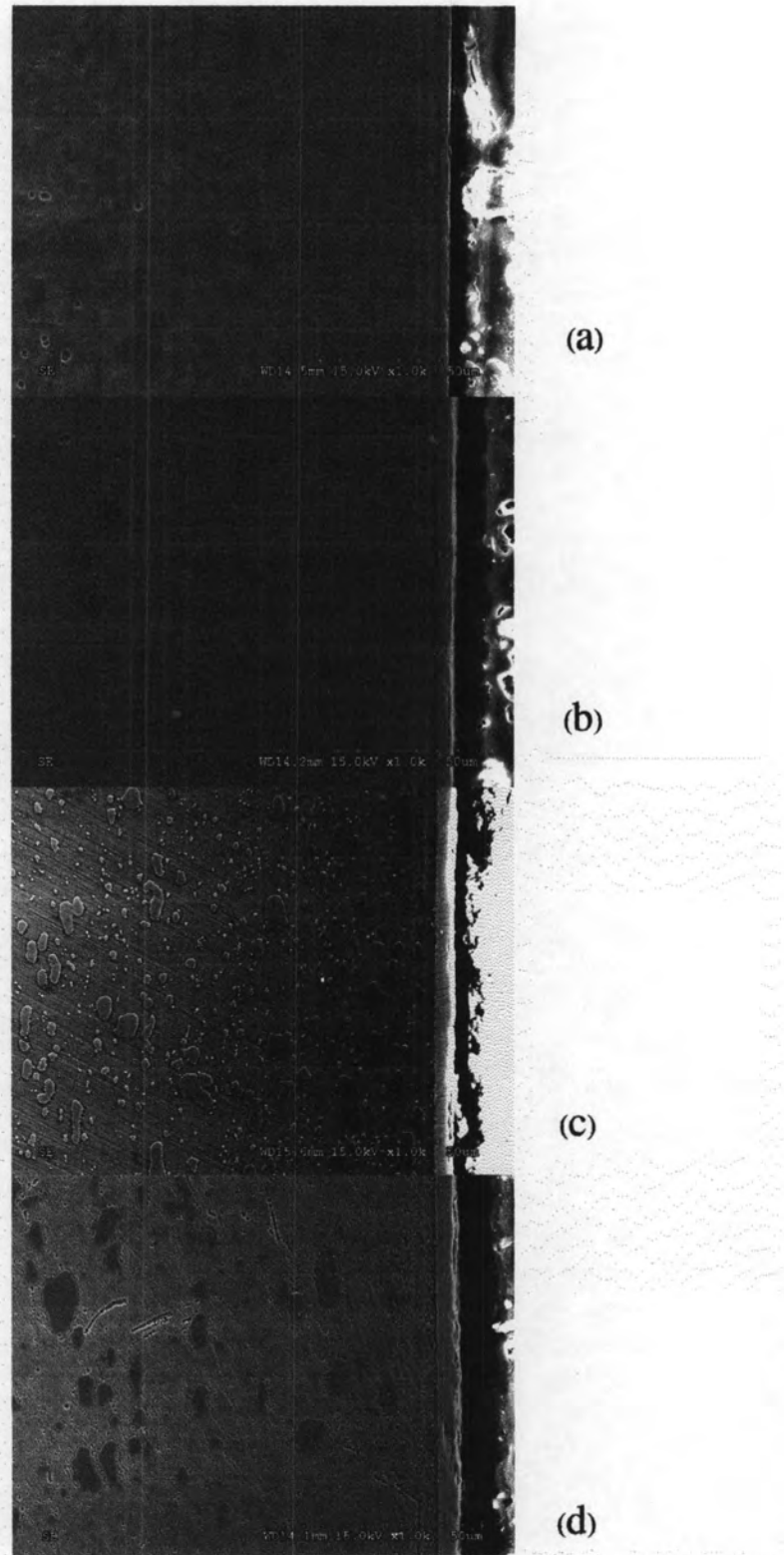


Fig. 4.4 Effect of immersion time on layer thickness from bath coating  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass% for (a) 1 hour (b) 2 hours 15 minutes (c) 4 hours and (d) 6 hours 15 minutes

#### 4.1.3 ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ 15 เปอร์เซ็นต์โดยมวล

ความหนาของชั้นเคลือบรวมที่ได้หนาเพิ่มขึ้นตามเวลาเคลือบที่เพิ่มขึ้นจาก 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง 15 นาที, 4 ชั่วโมง และ 6 ชั่วโมง 15 นาที จะได้ความหนา 3.4, 4.3, 6.4 และ 7.4 ไมครอน ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.5 โครงสร้างจุลภาคบริเวณชั้นเคลือบ (V,Nb)C แสดงในรูปที่ 4.6

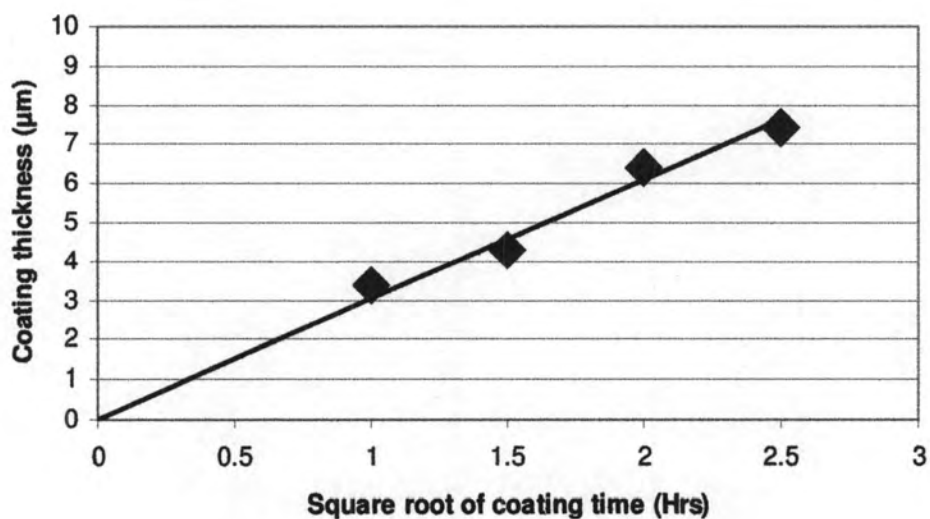


Fig. 4.5 Relationship of coating layer thickness and immersion time from bath coating  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass%

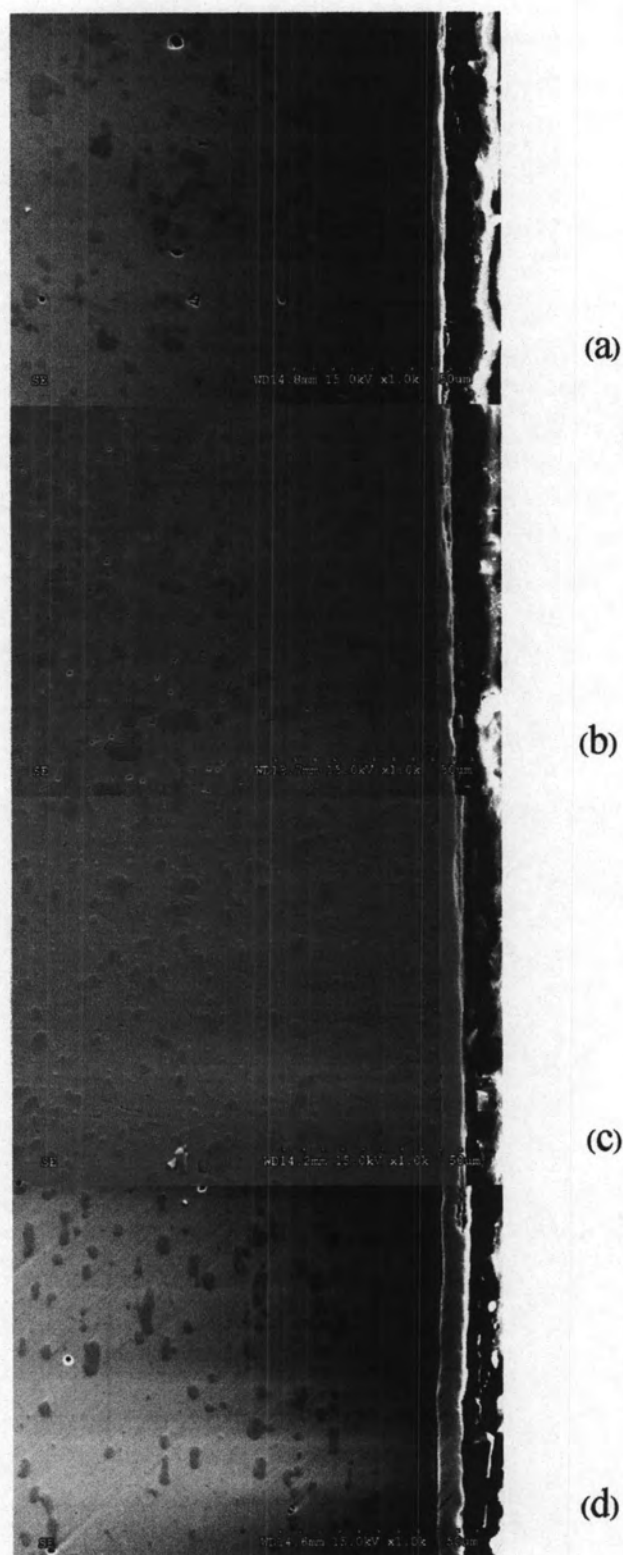


Fig. 4.6 Effect of immersion time on layer thickness from bath coating  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass% for (a) 1 hour (b) 2 hours 15 minutes (c) 4 hours and (d) 6 hours 15 minutes

จากการผลการทดลองทั้งหมด พบว่าความหนาชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้มีความหนาเพิ่มขึ้นตามเวลาของการเคลือบจาก 1 ชั่วโมง ถึง 6 ชั่วโมง 15 นาที ดังแสดงในรูปที่ 4.7 และ ความหนาของชั้นเคลือบเปรียบเทียบกับสัดส่วนต่างๆของ ไนโอเบียมเพนทอกไซด์ กับ วานาเดียมเพนทอกไซด์ ที่เป็นสารที่ให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์ จะเห็นว่าที่สัดส่วนต่างๆ นั้นให้ความหนาของชั้นเคลือบที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ดังแสดงในรูปที่ 4.7

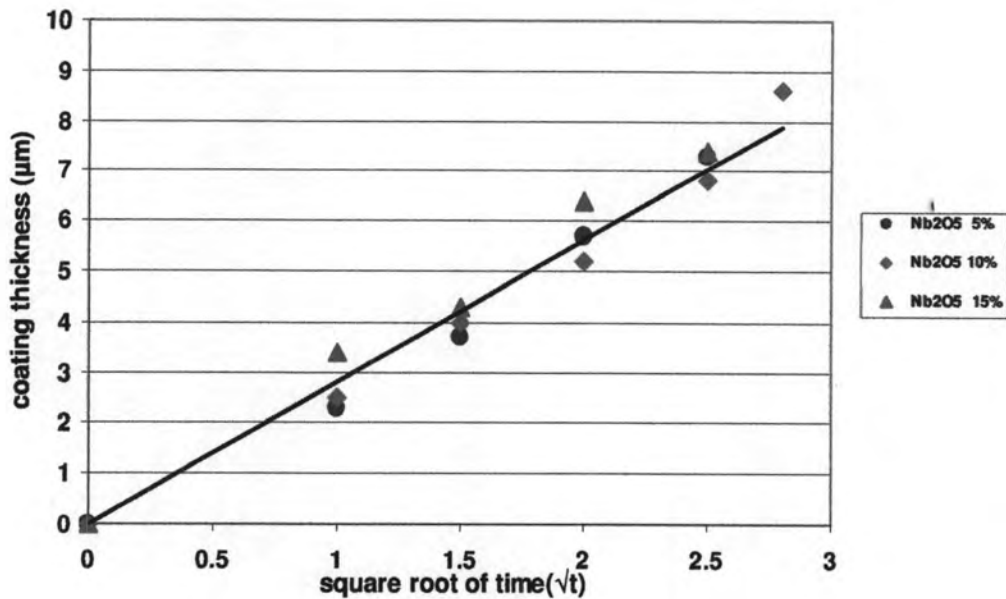


Fig. 4.7 Relationship of coating layer thickness and immersion time

#### 4.2 การวิเคราะห์ปริมาณธาตุของชั้นเคลือบด้วยเครื่อง EPMA

ในการวิเคราะห์ธาตุ ด้วยเครื่อง Electron Probe Micro Analyzer (EPMA) ของชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวในส่วนผสมสารเคมี  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass% ผสมกับ  $\text{V}_2\text{O}_5$  15 mass% ที่อุณหภูมิ  $1000^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 15 นาที มีความหนาชั้นเคลือบ 7.3 ไมครอน โดยสีที่ปรากฏในภาพ แสดงความเข้มข้นของปริมาณธาตุที่ทำการวิเคราะห์ โดยจะไล่ลำดับสีไปจาก สีน้ำเงิน, สีฟ้า, สีเขียว, สีเหลือง, สีส้ม และ สีแดง โดยจะแสดงถึงปริมาณธาตุที่มากขึ้นตามลำดับ เส้นสีแดงที่ลากผ่านบริเวณด้านล่างของภาพเป็น ปริมาณของธาตุที่ตรวจวัดได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.8 นั้น สีน้ำเงินทางด้านซ้ายของภาพเป็นบริเวณของเนื้อพื้นชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53 สีน้ำเงินทางด้านขวาของภาพเป็นบริเวณของตัวเรือนเรซินดำที่อยู่ติดกับบริเวณชั้นเคลือบที่มี สีส้มและเขียวที่บริเวณส่วนกลางของภาพ ปริมาณธาตุไนโอเบียมในชั้นเคลือบมีปริมาณมากในด้านที่เป็นชั้นเคลือบของชิ้นงาน และผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุวาเนเดียมที่แสดงเป็นเส้นสีแดงบริเวณส่วนล่างของภาพ แสดงปริมาณธาตุไนโอเบียมหนาแน่นที่บริเวณของชั้นเคลือบที่อยู่ติดกับผิวของชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53

บริเวณสีเขียวและแดงใน รูปที่ 4.9 แสดงบริเวณชั้นเคลือบที่มีปริมาณธาตุวาเนเดียม สูงกว่าบริเวณที่มีสีน้ำเงิน ทางด้านซ้ายซึ่งเป็นบริเวณของเนื้อพื้นชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53 และทางด้านขวาที่เป็นบริเวณของตัวเรือนเรซินดำ เมื่อดูเส้นสีแดงบริเวณส่วนล่างของภาพ แสดงปริมาณธาตุวาเนเดียมที่หนาแน่นในบริเวณสีแดง ของชั้นเคลือบที่อยู่ผิวด้านนอกของชิ้นงาน



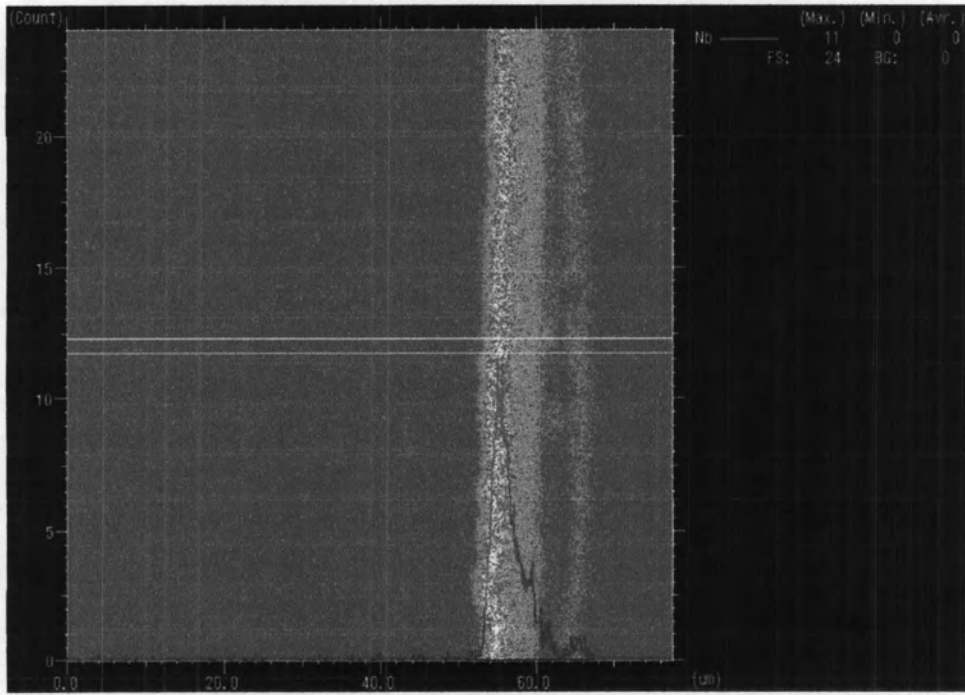


Fig. 4.8 Niobium content detected by EPMA of coated specimen in  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass% salt bath compositions

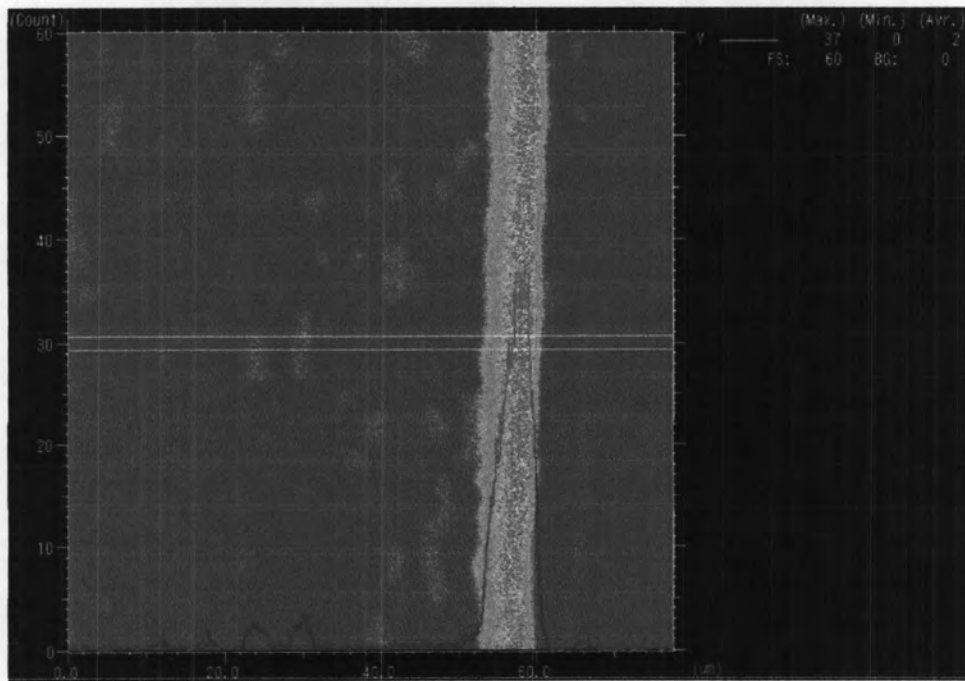


Fig. 4.9 Vanadium content detected by EPMA of coated specimen in  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass% salt bath compositions

ปริมาณธาตุ ไนโอเบียมในชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวในส่วนผสมสารเคมี  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass% ที่อุณหภูมิ  $1000^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 15 นาที มีความหนาชั้นเคลือบ 6.8 ไมครอน บริเวณด้านซ้ายของรูปที่ 4.10 เป็นบริเวณของเนื้อพื้นชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53 และด้านขวาเป็นบริเวณของตัวเรือนเรซินดำ มีสีน้ำเงิน แสดงถึงปริมาณธาตุ ไนโอเบียมต่ำ บริเวณตอนกลางของรูปซึ่งปรากฏเป็นสีเขียวและแดง แสดงถึงบริเวณชั้นเคลือบที่มีปริมาณไนโอเบียมสูง เส้นสีแดงทางด้านล่างของรูปแสดงปริมาณไนโอเบียมหนาแน่นที่บริเวณของชั้นเคลือบที่อยู่ติดกับผิวของชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53

บริเวณสีเขียวและเหลืองใน รูปที่ 4.11 แสดงบริเวณที่มีปริมาณธาตุวาเนเดียมสูงกว่าบริเวณที่มีสีน้ำเงินทางด้านขวา ซึ่งเป็นบริเวณของเรซินดำที่เป็นตัวเรือนของชิ้นงาน ทางด้านซ้ายของรูปเป็นบริเวณของเนื้อพื้นชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53 แสดงปริมาณธาตุวาเนเดียม กระจายเป็นแห่งๆ ปรากฏเป็นสีเขียวและเหลือง โดยมีแถบของธาตุวาเนเดียมบริเวณส่วนกลางของรูปแสดงถึงบริเวณชั้นเคลือบ เมื่อดูเส้นสีแดงบริเวณส่วนล่างของภาพ แสดงปริมาณธาตุวาเนเดียมที่กระจายตัวในบริเวณชิ้นงานเหล็กกล้า และเรียงตัวเป็นแถบในบริเวณชั้นเคลือบ

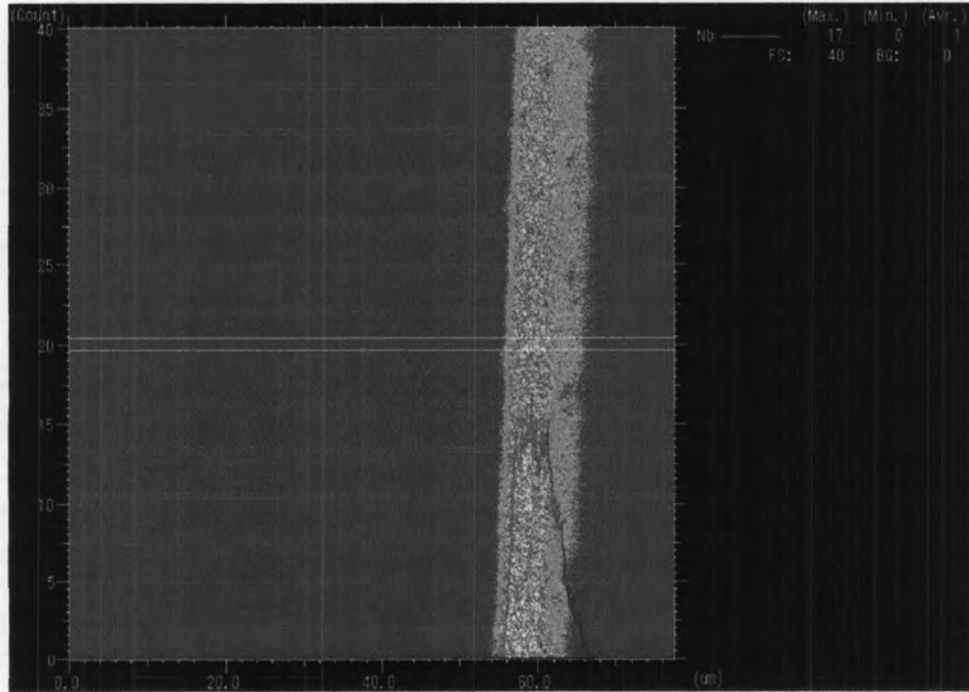


Fig. 4.10 Niobium content detected by EPMA of coated specimen in  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass% salt bath compositions

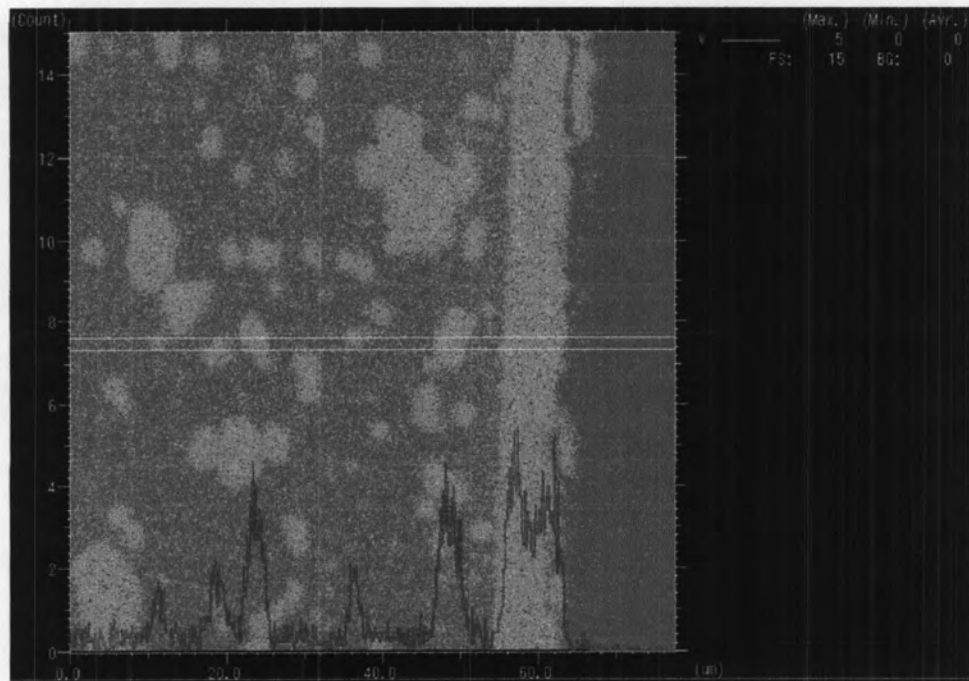


Fig. 4.11 Vanadium content detected by EPMA of coated specimen in  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass% salt bath compositions

ปริมาณธาตุ ไนโอเบียมในชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวในส่วนผสมสารเคมี  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass% ที่อุณหภูมิ  $1000^\circ\text{C}$  เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 15 นาที มีความหนาชั้นเคลือบ 7.4 ไมครอน บริเวณด้านซ้ายของรูปที่ 4.12 เป็นบริเวณของเนื้อพื้นชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53 และด้านขวาเป็นบริเวณของตัวเรือนเรซินดำ มีสีน้ำเงิน แสดงถึงปริมาณธาตุ ไนโอเบียมต่ำ บริเวณตอนกลางของรูปซึ่งปรากฏเป็นสีเขียวและแดง แสดงถึงบริเวณชั้นเคลือบที่มีปริมาณไนโอเบียมสูง เส้นสีแดงทางด้านล่างของรูปแสดงปริมาณไนโอเบียมที่หนาแน่น ในบริเวณของชั้นเคลือบที่อยู่ติดกับผิวของชิ้นงานเหล็กกล้า DC53

บริเวณสีเขียวใน รูปที่ 4.13 แสดงบริเวณที่มีปริมาณธาตุวานาเดียมสูงกว่าบริเวณที่มีสีน้ำเงินทางด้านขวา ซึ่งเป็นบริเวณของเรซินดำที่เป็นตัวเรือนของชิ้นงาน ทางด้านซ้ายของรูปเป็นบริเวณของเนื้อพื้นชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้า DC53 แสดงปริมาณธาตุวานาเดียม กระจายเป็นแห่งๆ ปรากฏเป็นสีเขียว โดยมีแถบของธาตุวานาเดียมบริเวณส่วนกลางของรูปแสดงถึงบริเวณชั้นเคลือบ เมื่อดูเส้นสีแดงบริเวณส่วนล่างของภาพ แสดงปริมาณธาตุวานาเดียมที่กระจายตัวในบริเวณชิ้นงานเหล็กกล้า และเรียงตัวเป็นแถบในบริเวณชั้นเคลือบ ทั้งสองบริเวณมีปริมาณใกล้เคียงกัน

ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุของชิ้นงานที่ใช้ส่วนผสมสารเคมีทั้งสามสัดส่วนคือ  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass% และ  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass% แสดงให้เห็นว่าปริมาณธาตุ ไนโอเบียมจะมีมากในชั้นเคลือบบริเวณที่อยู่ติดกับชิ้นงาน ผลการวิเคราะห์ปริมาณธาตุวานาเดียมพบว่ามีธาตุวานาเดียมอยู่ในเนื้อชิ้นงาน และในชั้นเคลือบ โดยจากข้อมูลการเคลือบผิวเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 โดยส่วนผสมสารเคมีเป็น  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass% พบธาตุวานาเดียมเป็นส่วนประกอบอยู่เป็นจำนวนมากด้านที่ติดกับผิวเรซิน และส่วนผสมสารเคมีเป็น  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass% และ  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass% พบว่ามีธาตุวานาเดียมกระจายอยู่ทั่วไปในชิ้นงานและผิวชั้นเคลือบ

ค่า Free energy of carbide formation ของธาตุไนโอเบียมเพนทอกไซด์เป็นไนโอเบียมคาร์ไบด์ มีค่าต่ำกว่าธาตุวานาเดียมเพนทอกไซด์เป็นวานาเดียมคาร์ไบด์ อยู่ 10 (kcal/gr-atom) ของธาตุคาร์บอนโดยประมาณ ธาตุไนโอเบียมจึงมีความหนาแน่นสูงอยู่ในชั้น วานาเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์บริเวณที่อยู่ติดกับชิ้นงาน และธาตุวานาเดียมมีความหนาแน่นสูงอยู่บริเวณผิวหน้าที่ยึดกับเรซินในชั้นเคลือบวานาเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์

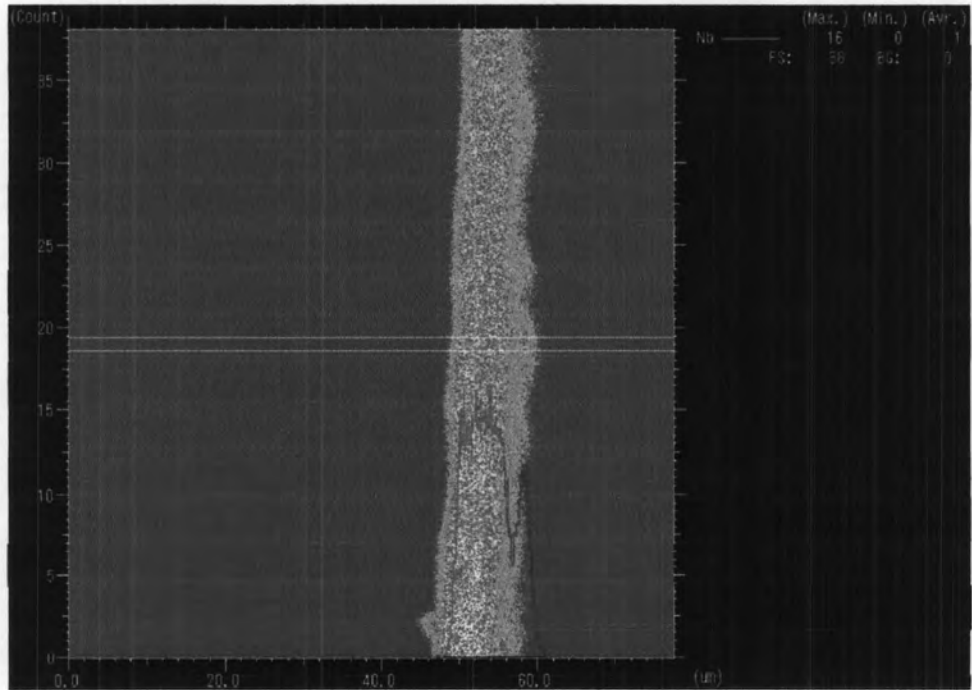


Fig. 4.12 Niobium content detected by EPMA of coated specimen in  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass% salt bath compositions

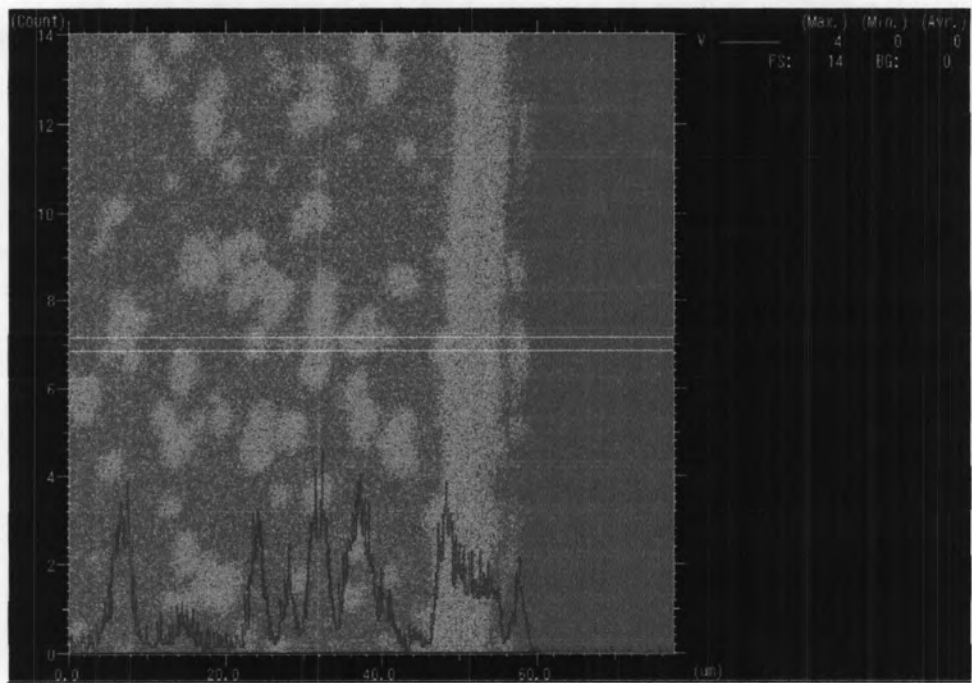


Fig. 4.13 Vanadium content detected by EPMA of coated specimen in  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass% salt bath compositions

#### 4.3 ความแข็งชั้นเคลือบกับสัดส่วนของสารที่ให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์

ความแข็งชั้นเคลือบวานาเดียม ไนโอเบียมคาร์ไบด์ที่ทดสอบโดยเครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์ (Micro-Vickers Hardness Testing Machine) โดยใช้แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที ที่ได้จากผิวชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงานเย็น DC53 ที่ทำการทดลองแปรผันสัดส่วนสารที่ให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์ โดยการให้สัดส่วนของสารที่ให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์นั้นเป็น  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  5 mass%,  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  10 mass% และ  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  15 mass% ให้ความแข็งชั้นเคลือบ 3027, 3823 และ 3898 วิกเกอร์ ตามลำดับ กล่าวได้ว่าสัดส่วนของสารเคมีที่ให้ธาตุฟอร์มคาร์ไบด์ ส่งผลต่อความแข็งของชั้นเคลือบวานาเดียม ไนโอเบียมคาร์ไบด์บนชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.14

การเปรียบเทียบค่าความแข็งของชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการใช้  $\text{B}_4\text{C}$  และ Al เป็นรีดิวเซอร์โดยทดสอบด้วยเครื่องไมโครวิกเกอร์ใช้แรงกด 25 gf เป็นเวลา 10 วินาที โดยแสดงในรูปที่ 4.15 ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการใช้  $\text{B}_4\text{C}$  เป็นรีดิวเซอร์ มีความแข็ง 2231 วิกเกอร์ และ ชั้นเคลือบวานาเดียมคาร์ไบด์ที่ได้จากการใช้ Al เป็นรีดิวเซอร์ มีความแข็ง 2257 วิกเกอร์

ความแข็งชั้นเคลือบของชิ้นงานที่มีผิวเคลือบเป็น วานาเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ สูงกว่าชิ้นงานที่มีผิวเคลือบเป็น วานาเดียมคาร์ไบด์ เนื่องจากขนาดของอะตอมของไนโอเบียมมีขนาด 1.35 อังสตรอม และ วานาเดียมมีขนาด 1.45 อังสตรอม ซึ่งไม่เท่ากัน ทำให้เกิดความบกพร่องในผลึกของชั้นเคลือบที่เป็น วานาเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ เกิดเป็นผิวชั้นเคลือบที่มีความบกพร่องของผลึกเซรามิก ซึ่งมีความแข็งสูง

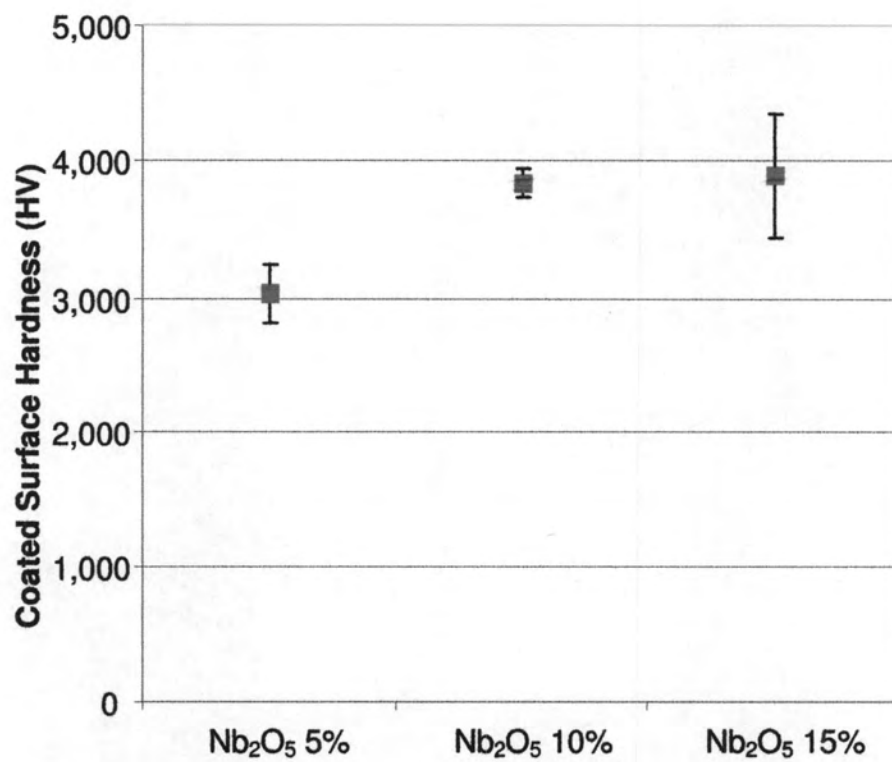


Fig. 4.14 Hardness of Vanadium-Niobium carbide layer

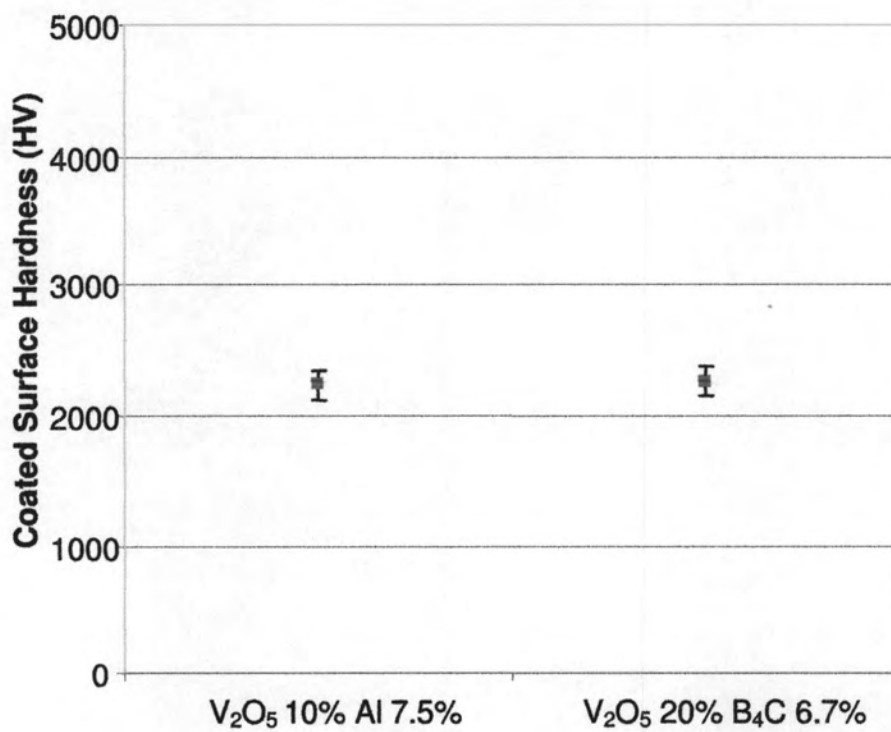


Fig. 4.15 Hardness of Vanadium carbide layer

#### 4.4 ผลการทดสอบการสึกหรอ

การทดสอบการสึกหรอ ring-on-disc โดยใช้ disc เป็นชิ้นงานเหล็กกล้าเครื่องมือทำงาน เย็น DC53 ที่ชุบแข็งแล้วอบคืนตัวจนได้ความแข็งที่ 60 HRc, แล้วขัดผิวด้วยกระดาษทรายเบอร์ P1000 จนได้ความหยาบผิว Ra เท่ากับ 0.049 ไมครอน ชิ้นงานเคลือบผิวด้วยวานเนเดียมคาร์ไบด์ และชิ้นงานเคลือบผิวด้วย วานเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ ที่มีความหยาบผิว Ra เท่ากับ 0.355 ไมครอน ด้วยกระบวนการ TRD กับ ring เป็นเหล็กกล้าใช้เป็นเกรด 304 ผลการทดสอบการสึกหรอ (Wear test) พบว่าที่ความเร็วรอบการหมุน ring เริ่มต้น 100 รอบต่อนาที แล้วเพิ่มขึ้นอีกนาที ละ 300 รอบต่อนาที โดยมีแรงกด 500 นิวตัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยเส้นสีน้ำเงินแสดง ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวแล้ว เส้นสีชมพูแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย วานเนเดียม-ไนโอเบียมคาร์ไบด์ และเส้นสีเขียวแสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของชิ้นงานเคลือบผิวด้วยวานเนเดียมคาร์ไบด์ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวมีค่าสูงเมื่อเริ่มต้นการทดสอบ และลดลงเมื่อเวลาผ่านไป ประมาณ 1 นาที มีค่าอยู่ที่ 0.5-0.6 ในช่วงเวลา 1-4 นาที และมีค่าอยู่ที่ประมาณ 0.7 เมื่อเวลาผ่านไป ประมาณ 4 นาที สำหรับชิ้นงานเคลือบผิวด้วย วานเนเดียม-ไนโอเบียม คาร์ไบด์ ดังแสดงเป็นเส้นสีชมพู ในรูปมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูง ที่ช่วงเริ่มต้นการทดสอบและลดลงเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 1 นาที และเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 3 นาที ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหาย ก็ลดลงอย่างต่อเนื่อง และสำหรับชิ้นงานเคลือบผิวด้วย วานเนเดียมคาร์ไบด์ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูงที่ ช่วงเริ่มต้นการทดสอบเช่นเดียวกัน และเมื่อเวลาผ่านไป 1 นาที และค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายก็ลดลงมาอยู่ที่ประมาณ 0.5-0.6 เมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที หลังจากนั้นค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายก็ลดลงอีก แต่มีค่ามากกว่าชิ้นงานที่เคลือบผิวด้วย วานเนเดียม-ไนโอเบียม คาร์ไบด์ ที่เวลาเดียวกัน



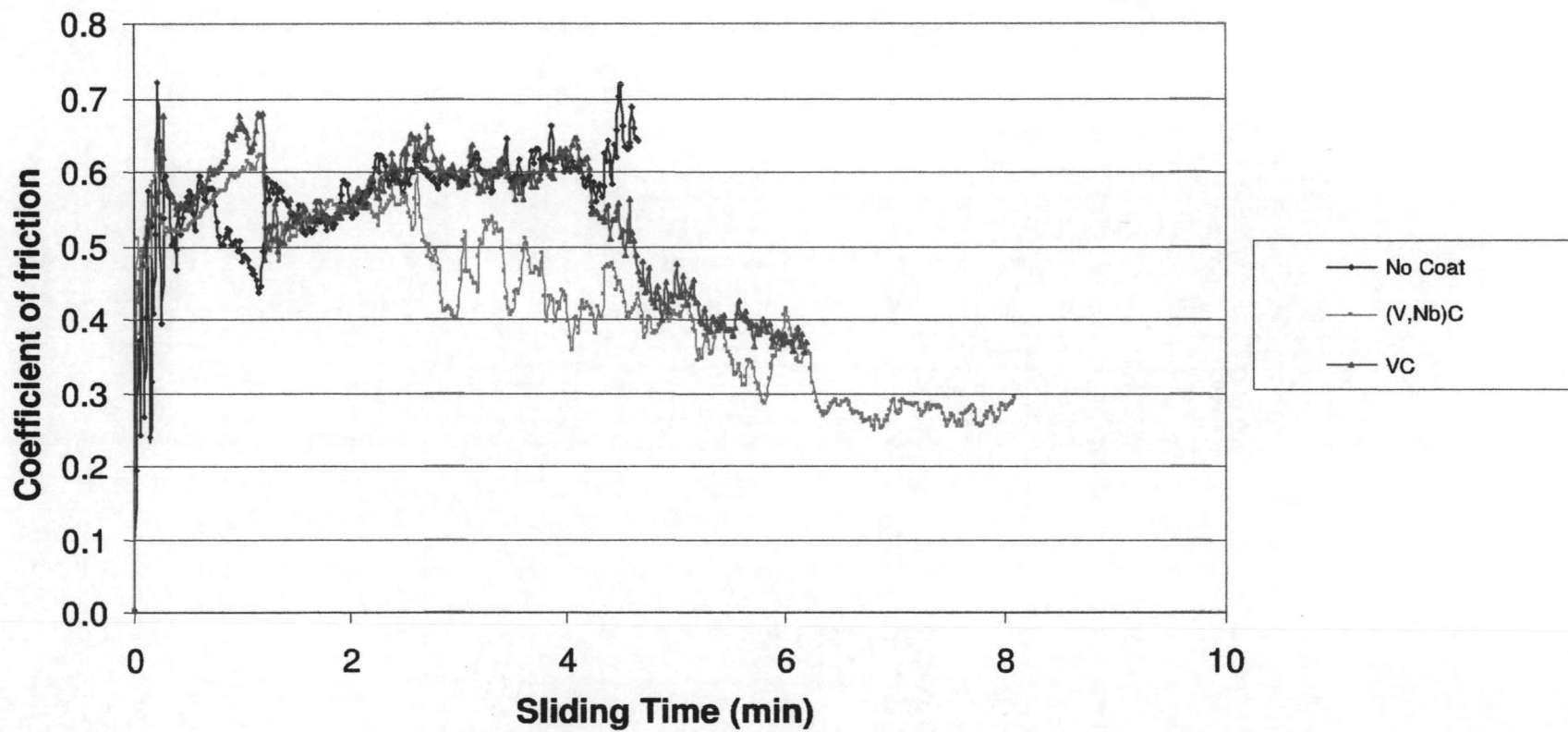


Fig. 4.16 Coefficient of friction of no coat Quench and tempered, (V,Nb)C coating and VC coating specimens

ผลการทดสอบการสึกหรอแสดงว่า ชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งมีค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน ประมาณ 0.6 ดังแสดงในรูปที่ 4.16 โดยเมื่อเวลาผ่านไป 4 นาที ระหว่างการทดสอบมีเสียงดังมาก และค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน เพิ่มขึ้นถึง ประมาณ 0.7 จึงทำการหยุดเครื่องทดสอบและพบว่าเกิดการเกาะติดของผิวหน้าชิ้นงานอย่างรุนแรง ดังแสดงในรูปที่ 4.17 เกิดการเกาะติดของเหล็กกล้า วงแหวน เป็นความหนา 430 ไมครอน โดยประมาณ เป็นพื้นที่ประมาณ 51 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ไถล (sliding) ทั้งหมด และที่ชิ้นงานที่มีชั้น VC เคลือบนั้นจะมีค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน ประมาณ 0.6 และเมื่อทำการทดสอบต่อไปพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทานลดลง เมื่อชิ้นงานมีลักษณะร้อนแดง และมีลักษณะการเกิดการเกาะติดของชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 4.18 เป็นเส้นสีแดงรอบบริเวณที่เป็นการเกาะติดกับผิวหน้าของชิ้นงาน ในขณะที่ชิ้นงานที่มีชั้น (V,Nb)C มีค่าสัมประสิทธิ์การเสียดทาน ประมาณ 0.5 และลดลงเมื่อความเร็วรอบการหมุนวงแหวนเพิ่มขึ้น สภาพชิ้นงานหลังการทดสอบการสึกหรอ แสดงในรูปที่ 4.19 เห็นความแตกต่างของชิ้นงานที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบผิวกับชิ้นงานที่มีการเคลือบผิวด้วยชั้นเคลือบ VC และ (V,Nb)C โดยชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งแสดงลักษณะการสึกหรอหลังการทดสอบการสึกหรอในรูปที่ 4.17 โดยเส้นสีแดงแสดงบริเวณที่แสดงการเกิดการเกาะติดอย่างรุนแรง การเกิดการเกาะติดของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งเป็นจำนวนประมาณ 51 เปอร์เซ็นต์ ของพื้นที่ไถล ทั้งหมด ในขณะที่พื้นที่ทดสอบการสึกหรอของชิ้นงานที่มีชั้น VC และ (V,Nb)C เคลือบอยู่นั้น ไม่แสดงลักษณะการเกาะติดของชิ้นงานเกิดขึ้นอย่างชัดเจน แม้ว่าชิ้นงานที่มีชั้น VC ผ่านการทดสอบการสึกหรอนานกว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งเป็นเวลา 1 นาทีโดยประมาณ (ระยะทางการไถลมากกว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งอยู่ 160 เมตร) มีความหนาบริเวณที่เกิดการเกาะติด 30 ไมครอน ทำการทดสอบโดยไมโครมิเตอร์ และชิ้นงานที่มีชั้น (V,Nb)C ผ่านการทดสอบการสึกหรอนานกว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งเป็นเวลา 3 นาที (ระยะทางการไถลมากกว่าชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งอยู่ 440 เมตร) มีความหนาบริเวณที่เกิดการเกาะติด 70 ไมครอน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชิ้นงานทั้งสองลดลงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งหยุดการทดสอบ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของชิ้นงานที่มีชั้น (V,Nb)C เคลือบอยู่ มีค่าเท่ากับประมาณ 0.4 (ในขณะที่ชิ้นงานมีอุณหภูมิ 214 องศาเซลเซียส) และ แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเมื่อหยุดการทดสอบที่ประมาณ 0.3 (ในขณะที่ชิ้นงานมีอุณหภูมิ 308 องศาเซลเซียส) เวลาในการทดสอบที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ อุณหภูมิของชิ้นงานเพิ่มขึ้นจากการเสียดทาน ความร้อนทำให้เกิดฟิล์มออกไซด์ขึ้นระหว่างการทดสอบการสึกหรอ โดยฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ก่อตัวเป็นผิวปกป้องบนผิวหน้าที่สึกหรอ ลดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานลงและลดการสึกหรอของเหล็กกล้าวงแหวนลง

ในรูปที่ 4.16 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของ ชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัวมีค่าสูงและลดลงในช่วง 1 นาทีแรกของการทดสอบอาจเป็นผลมาจากการปรับผิวหน้าให้เข้ากันระหว่าง Disc และ Ring ในช่วงเวลาดังแต่นาทีที่ 1 ถึงนาทีที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายอยู่ที่ระหว่าง 0.5-0.6 โดยประมาณ และช่วงนาทีที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายเพิ่มขึ้นจนมีค่าอยู่ที่ 0.7 โดยประมาณ การที่ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายของชิ้นงานที่ผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัว มีค่าเพิ่มขึ้นนั้น เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากการเสียดสี อาจทำให้เหล็กออกไซด์เกิดขึ้นที่ผิว Disc จึงทำลายผิวโครเมียมออกไซด์ของ เหล็กกล้าวงแหวน ทำให้เกิดการเกาะติดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4.17 บริเวณที่มีเส้นสีแดงล้อมรอบแสดงบริเวณที่เกิดการเกาะติด ของเหล็กกล้าวงแหวน บน Disc

ชิ้นงานเคลือบผิวด้วย วาเนเดียมคาร์ไบด์ มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูงและลดลงในช่วง 1 นาทีแรกของการทดสอบ และระหว่างนาทีที่ 1-4 ชิ้นงานมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายอยู่ระหว่าง 0.5-0.6 และหลังจากนาทีที่ 4 จนถึงสิ้นสุดการทดลองที่นาทีที่ 6 ชิ้นงานมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าอยู่ที่ ประมาณ 0.4 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย (V,Nb)C มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายสูงและลดลงในช่วง 1 นาทีแรกของการทดสอบ และระหว่างนาทีที่ 1-4 ชิ้นงานมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายอยู่ระหว่าง 0.4-0.6 และหลังจากนาทีที่ 4 ชิ้นงานมีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายลดลงอย่างต่อเนื่องจนมีค่าอยู่ที่ ประมาณ 0.3 เมื่อสิ้นสุดการทดลอง

ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบผิวด้วย VC และ (V,Nb)C ผิวเคลือบจะป้องกันการเกิดของเหล็กออกไซด์ ฟิล์มโครเมียมออกไซด์จึงไม่ถูกทำลาย เป็นผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียหายต่ำกว่า ชิ้นงานที่ไม่ได้ทำการเคลือบผิว

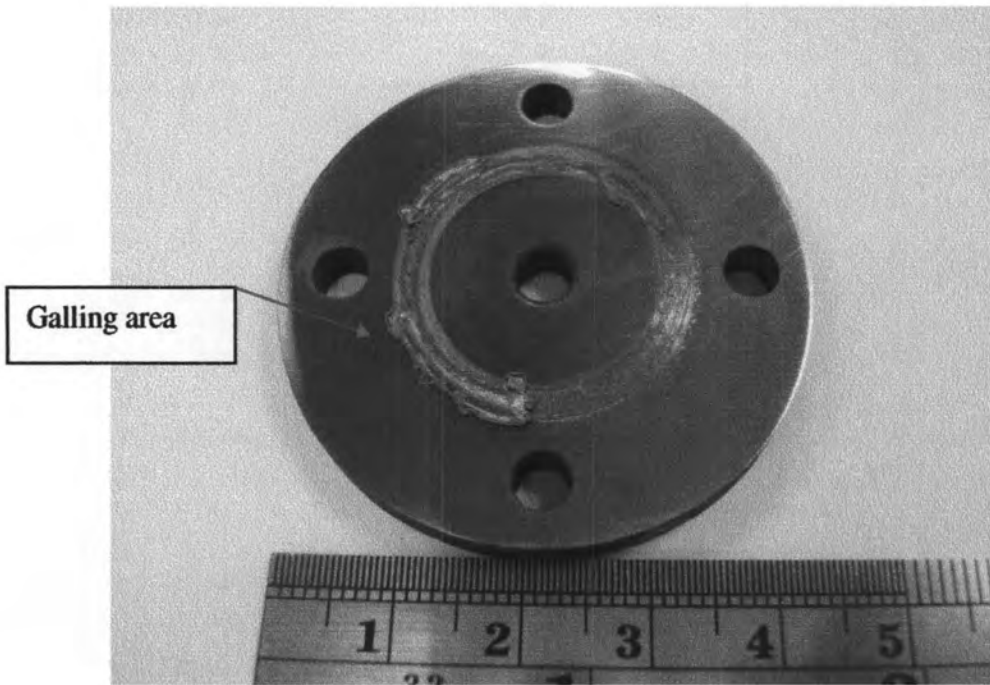


Fig. 4.17 Quenched and tempered disc after wear test

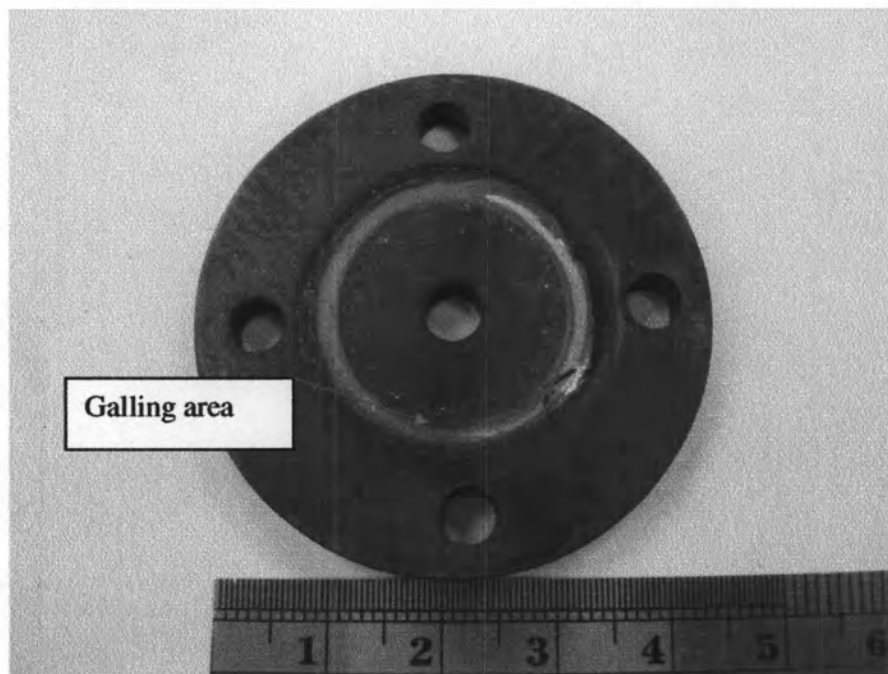


Fig. 4.18 VC coated disc after wear test



Fig. 4.19 (V,Nb)C coated disc after wear test

รูปถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน แสดงลักษณะของ เหล็กกล้าวัสดุดี ( Counter material ) ที่มาเกาะติดบนชิ้นงานที่ไม่เคลือบผิว ลักษณะบริเวณที่เกิดการเกาะติด หลังการทดสอบการสึกหรอ ดังแสดงในรูปที่ 4.20 ลักษณะของโลหะที่เกาะบนผิวชิ้นงาน บริเวณที่เกิดการเกาะติดบนชิ้นงานที่อยู่ภายในวงกลมสีแดง

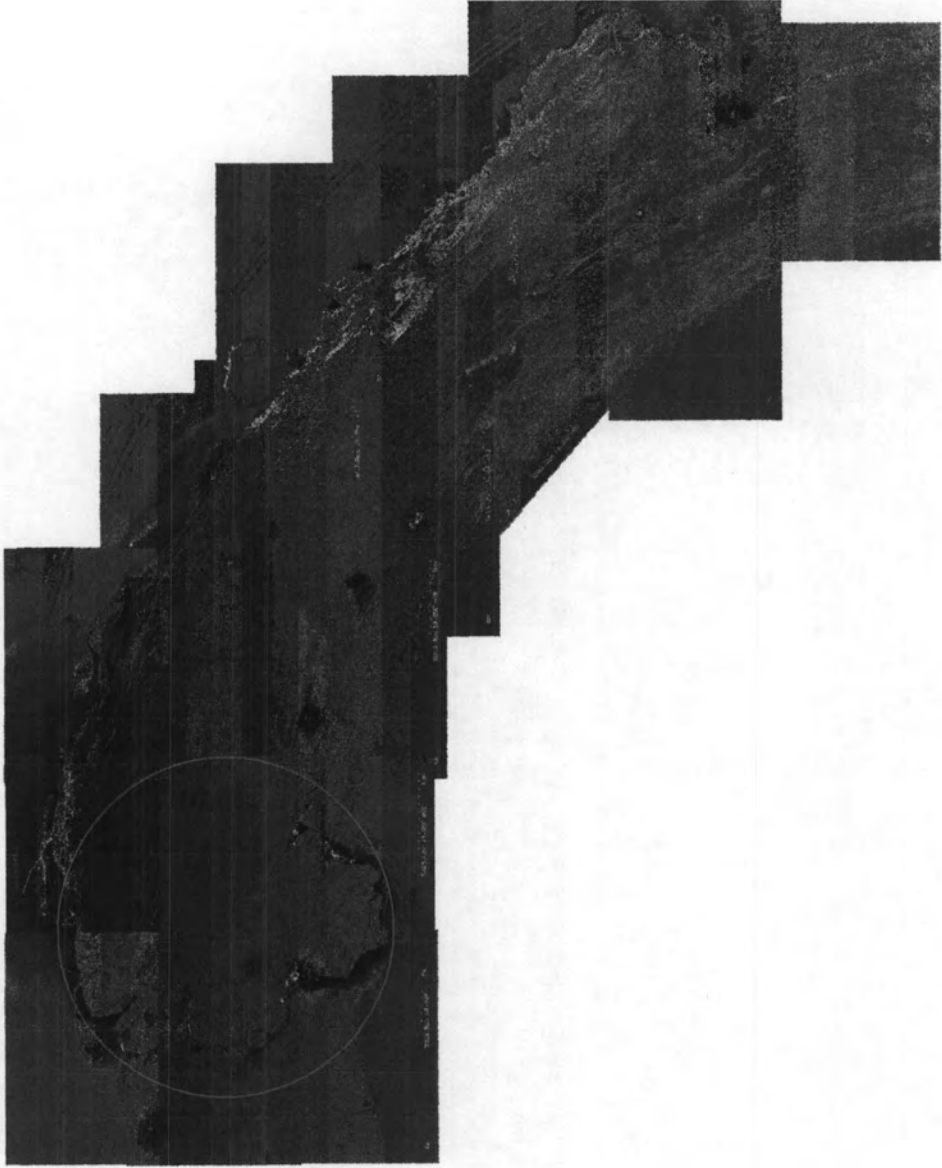


Fig. 4.20 SEM micrograph of galling area after wear test of quenched and tempered disc