

การสึกหรอของผิวหน้าสัมผัสซิลิกอนคาร์ไบด์

Sliding wear of seal-face Silicon carbide

กรรณิการ์ เดชรักษา, กุลจิรา สุจิโรจน์, และผกามาต แซ่ห้วง
ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ
114 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 0-2564-6500 ต่อ 4218 อีเมล : Kannigd@mtec.or.th

Kannigar Dateraksa, Kuljira Sujirote and Pakamard Saewong
National Metal and Materials Technology Center
114 Thailand Science Park, Paholyothin Road, Pathumthani 12120, Thailand
Tel: 0-2564-6500 ext. 4218 E-mail: Kannigd@mtec.or.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาลักษณะการสึกหรอของหน้าสัมผัส (seal face) ชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์จากการไถล (sliding wear) ระหว่างผิวในแมคคานิคัลซีล เป็นเวลา 6 และ 8 เดือน ภายใต้อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ความดัน 2-3 บาร์ และอัตราการไถล 2900 รอบต่อนาที ในสภาพที่มีน้ำมันเป็นตัวหล่อลื่น จากการศึกษพบว่า การสึกหรอเกิดจากการตอบสนองต่อความเค้นแบบอีลาสติก (elastic response) โดยสังเกตเห็นรอยแตกใต้ผิวกระจายอยู่ทั่วไปที่รอยต่อระหว่างอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์กับซิลิกอนซึ่งยึดเกาะกันไม่แข็งแรง และที่บริเวณที่มีซิลิกอนอยู่ติดกันเป็นบริเวณกว้าง

Abstract

Worn surfaces of SiC seal faces after 6 and 8 month use were studied. The seal faces had been lubricated slid against each other at 80°C with a revolution speed of 2900 rpm. under a pressure of 2-3 bar. Wear mechanism was found to be dominated by elastic deformation. The surface removal was initiated by cracking along the weak SiC/Si interface and in the silicon rich region.

1. บทนำ

การสึกหรอ (Wear) เป็นปัญหาสำคัญที่พบในทุุกอุตสาหกรรม ส่งผลให้เกิดการสูญเสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและจากประสิทธิภาพการทำงานที่ลดน้อยลง การสึกหรอเป็นการหลุดของผิววัสดุจากการถูกแรงกระทำขณะที่ผิวเคลื่อนที่สัมผัสกับอีกผิวหนึ่ง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปหรือสูญเสียเนื้อบริเวณที่สัมผัสกัน การสึกหรอ

สามารถเกิดขึ้นได้หลายรูปแบบ เช่น การขีดถูจากอนุภาคหรือเศษวัสดุ เล็ก ๆ ทำต่อผิวชิ้นงาน (abrasive wear) หรือการสึกหรอจากการไถลระหว่างผิวทั้งแบบที่มีตัวหล่อลื่นและไม่มีตัวหล่อลื่น (sliding wear) เป็นต้น การสึกหรอจะช้าหรือเร็วขึ้นกับอยู่กับหลายองค์ประกอบ เช่น โครงสร้างและชนิดของวัสดุ ขนาดของเกรน วัสดุที่มีเกรนโตจะสึกหรอเร็วกว่าวัสดุที่มีเกรนละเอียด[1] ความหยาบผิว ลักษณะผิวหยาบจะส่งผลทำให้อัตราการสึกหรอของคู่สัมผัสสูง นอกจากนี้อัตราการสึกหรอ ยังขึ้นอยู่กับ แรงที่กระทำ ความเร็วรอบ อุณหภูมิ และผลกระทบจากปัจจัยภายนอก อาทิเช่น สิ่งสกปรก ไอกรดต่าง เป็นต้น

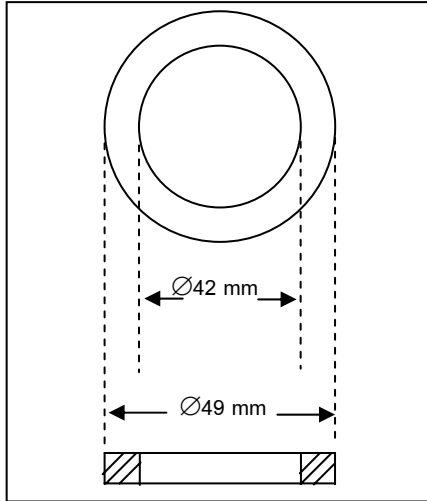
กลไกและพฤติกรรมของการสึกหรอของวัสดุเซรามิกส์จะมีความแตกต่างจากกลไกและพฤติกรรมของการสึกหรอของวัสดุประเภทโลหะและโพลีเมอร์มาก พันธะระหว่างอะตอมในโครงสร้างที่เป็นแบบไอออนิก และโควาเลนต์ ทำให้วัสดุมีความแข็งแรง เซรามิกส์เป็นวัสดุที่ทนต่อการสึกหรอเกือบทุกชนิด ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นหนึ่งในวัสดุที่มีสมบัติต้านทานต่อการสึกหรอได้ดี เนื่องจากมีสมบัติทางด้านความแข็งแรงสูง (high hardness) มีความแข็งแรงเชิงกลสูง (high mechanical strength) และมีความต้านทานต่อการกัด-ต่าง และสารเคมีได้เป็นอย่างดี

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาลักษณะการสึกหรอของหน้าสัมผัสชนิดซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ผ่านการใช้งาน โดยวัดความหยาบผิวเทียบกับโครงสร้างจุลภาค

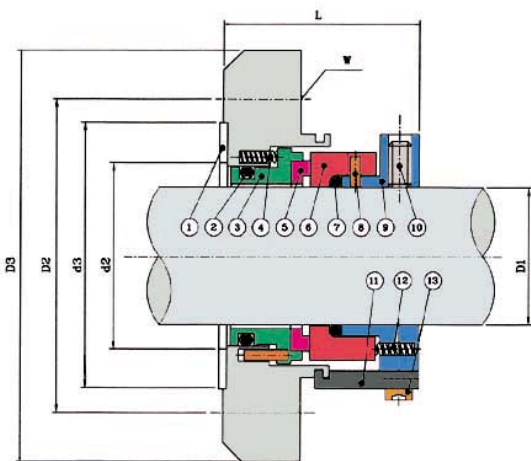
2. วิธีการศึกษา

วิเคราะห์ชิ้นงานหน้าสัมผัสชนิด Si/SiC composite ที่ผ่านการใช้งานในสภาพที่มีน้ำมันเป็นตัวหล่อลื่น ดังสภาวะการใช้งาน แบบชิ้นงาน และหลักการการทำงานของชิ้นงานหน้าสัมผัสใน Mechanical seal ดังตารางที่ 1 ภาพที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ศึกษาความหยาบของผิว (Surface roughness, R_a) ด้วยเครื่อง Surface profiler DekTak³ ST

(Veeco) และ Mitutoyo surfest 201 ในสภาวะการทดสอบตั้งนี้แรงกด 30 มิลลิกรัม ระยะทางที่หัวกดเคลื่อนที่ 1500 ไมครอน และความเร็วในการเคลื่อนที่ 9 วินาที ศึกษาผิวหน้าที่เกิดการสึกหรอด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง(OM, รุ่น Olympus BH2-UMA) ศึกษาชิ้นงานภาพตัดขวางโดยการขึ้นรูปแบบขึ้นเรือน ขัดเตรียมผิวชิ้นงานจนขัดเพชรขนาด 38 ไมครอน จากนั้นขัดด้วยผงขัดเพชรขนาด 6, 3 และ 1 ไมครอนตามลำดับ ศึกษาชิ้นงานภาพตัดขวางของชิ้นงานด้วยเครื่องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM, รุ่น JSM-6301)



ภาพที่ 1 แบบชิ้นงานหน้าสัมผัสซิลิกอนคาร์ไบด์



ภาพที่ 2 หลักการทำงานของหน้าสัมผัสใน Mechanical seal [2]:
 (1) gasket, (2) O-ring, (3) stationary seat, (4) multiple-springs,
 (5) seal face, (6) rotary, (7) O-ring, (8) drive pin, (9) set-ring, (10)
 set-screw, (11) setter, (12) multiple-springs, (13) screw

ตารางที่ 1 สภาวะการใช้งานของหน้าสัมผัสชนิด Si-SiC composite

ตัวอย่าง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความดัน (บาร์)	อัตราเร็ว (รอบต่อนาที)	ระยะเวลา ใช้งาน (เดือน)
A	80	2-3	2900	6
B	80	2-3	2900	8

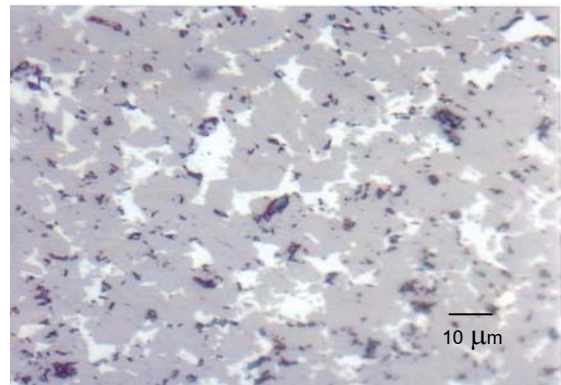
3. ผลและวิจารณ์การทดลอง

3.1 ความเรียบผิวเฉลี่ย (Surface roughness average, R_a)

ตารางที่ 2 แสดงลักษณะของชิ้นงานหน้าสัมผัส Si/SiC composite ก่อนใช้งานที่มีความหนาแน่น 3.06 g/cm³ โดยมีซิลิกอนประมาณ 13-17% เป็นสารเชื่อมประสานอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีขนาดอยู่ในช่วง 2-20 ไมครอน ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งเป็นโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน โดยที่บริเวณสีเทาอ่อนเป็นบริเวณของซิลิกอนและบริเวณสีเทาเข้มเป็นบริเวณของซิลิกอนคาร์ไบด์ ทั้งนี้อาจสังเกตได้ว่าอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ในชิ้นงานมีอยู่สองลักษณะคือ อนุภาคขนาดใหญ่ซึ่งเป็นอนุภาคที่ใช้เป็นวัตถุตั้งเริ่มต้น กับอนุภาคขนาดเล็กที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซิลิกอนกับสารเชื่อมประสานอินทรีย์ (in-situ SiC) ที่เกาะอยู่บนอนุภาคเริ่มต้น[3]

ตารางที่ 2 สมบัติทางกลของชิ้นงานหน้าสัมผัสซิลิกอนคาร์ไบด์ [3]

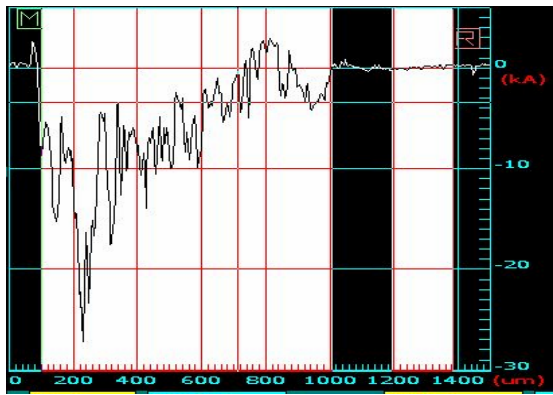
ความหนาแน่น (g/cm ³)	ปริมาณ Si (%)		ความแข็ง (GPa)	ความแข็งแรง (MPa)
	IA	XRD		
3.06	17	13	22	298



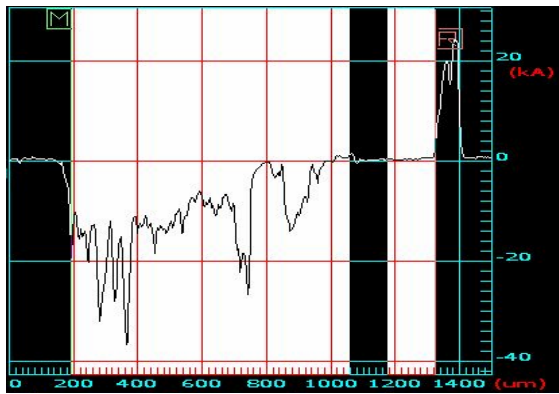
ภาพที่ 3 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหน้าสัมผัสก่อนการใช้งาน

สภาพของชิ้นงานหน้าสัมผัสซิลิกอนคาร์ไบด์ก่อนมีการใช้งานจะมีลักษณะผิวหน้าเรียบ ในขณะที่สภาพชิ้นงานหลังจากมีการใช้งาน จะสังเกตเห็นว่าจะมีรอยคราบสกปรกของน้ำมันติดอยู่ มีทั้งที่เป็นลักษณะเป็นแผ่นๆและจุด ส่วนผิวจะมีลักษณะหยาบและขรุขระ เมื่อวัดความหยาบผิวเฉลี่ยของชิ้นงาน Si/SiC composite ที่เกิดการสึกหรอจากการไถลระหว่างผิว (ภาพที่ 4) พบว่าตัวอย่าง A มีค่าความหยาบผิวเฉลี่ย (R_a) 0.28 ± 0.11 ไมครอน และชิ้นงานตัวอย่าง B มีค่าความหยาบผิว

เฉลี่ย (R_a) 0.34 ± 0.12 ไมครอน กล่าวได้ว่า ชิ้นงานตัวอย่าง B ซึ่งผ่านการใช้งานนานกว่าจะมีความหยาบผิวมากกว่าชิ้นงาน A



(a)



(b)

ภาพที่ 4 ผลการวัดความหยาบของผิวชิ้นงานที่เกิดจากการสึกหรอ (a) ชิ้นงานตัวอย่าง A และ (b) ชิ้นงานตัวอย่าง B

3.2 โครงสร้างจุลภาค

3.2.1 ลักษณะโครงสร้างที่ผิว

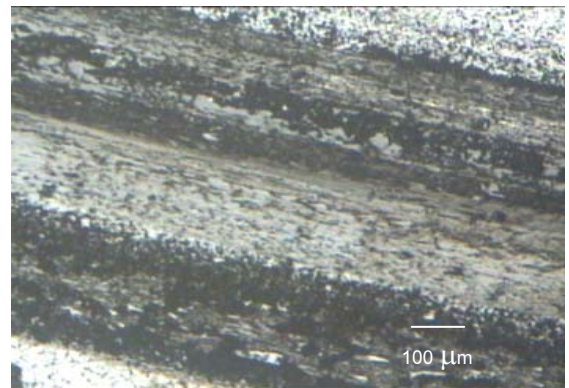
เมื่อพิจารณาโครงสร้างของชิ้นงานหน้าสัมผัสของตัวอย่าง A ตลอดทั้งชิ้นพบว่า ลักษณะการสึกหรอที่เกิดขึ้นจะมีช่วงกว้างและแคบไม่เท่ากันตลอดทั้งชิ้นงาน ลักษณะรอยสึกชนิดนี้สาเหตุหลักเกิดจากความเค้นกดลงบนชิ้นงานไม่สม่ำเสมอ[4] ดังภาพที่ 5 ในขณะที่พิจารณาโครงสร้างของชิ้นงานหน้าสัมผัสของตัวอย่าง B ตลอดทั้งชิ้นพบว่า ลักษณะรอยสึกจะมีความสม่ำเสมอแต่สภาพชิ้นงานหลังจากมีการใช้งานจะมีเนื้อชิ้นงานหลุดออกมา ดังภาพที่ 6

พิจารณารายละเอียดรอยสึกจากจุลทรรศน์แบบแสงของชิ้นงานทั้งสอง โดยเลือกบริเวณระหว่างบริเวณไม่มีการสึกหรอกับบริเวณที่มีการสึกหรอมากที่สุด พิจารณาภาพที่ 7 (a)-(b) บริเวณสีเทาเข้มเป็นอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์เริ่มต้น ส่วนบริเวณที่เชื่อมติดเป็นซิลิกอนคาร์ไบด์เกิดขึ้นใหม่ (in-situ SiC) ระหว่างกระบวนการผลิตในขั้นตอนการให้ความร้อน (1600-1800 องศาเซลเซียส) บริเวณสีเทาอ่อนเป็นซิลิกอน

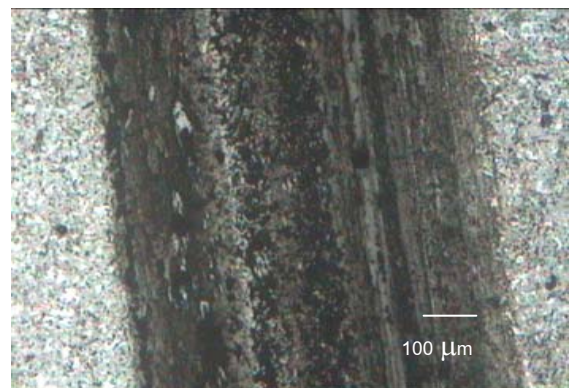
และบริเวณสีดาบริเวณที่เกิดการสึกหรอ เนื้อที่ผิวหลุดออกไป ลักษณะนี้พบเห็นอยู่ทั่วไปในชิ้นงานทั้งสอง และพบว่าชิ้นงานทั้งสองมีผิวลักษณะขรุขระ ในการศึกษาชิ้นนี้ไม่สามารถระบุได้แน่ชัดว่าการสึกเริ่มเกิดจากบริเวณซิลิกอนหรือซิลิกอนคาร์ไบด์ต้องดูโครงสร้างในภาพตัดขวางต่อไป



(a)



(b)

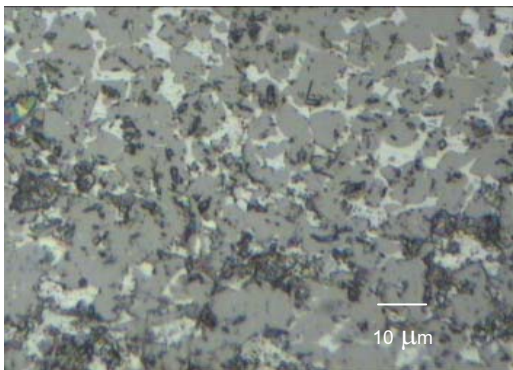


(c)

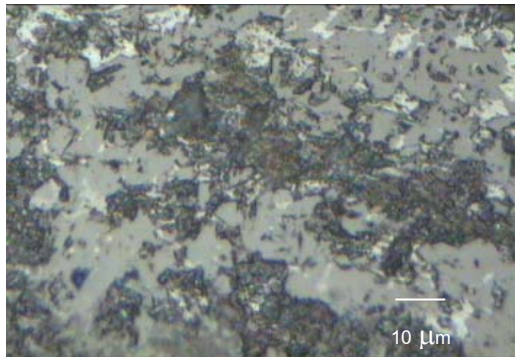
ภาพที่ 5 โครงสร้างจุลภาคของพื้นที่หน้าสัมผัสตัวอย่าง A ที่ได้รับแรงกระทำ (a) ภาพรวมของชิ้นงานหน้าสัมผัส – ภาพเล็กขยายให้เห็นรอยสึก (b) ภาพขยายจุดที่ 1 (c) ภาพขยายจุดที่ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ชิ้นงานหน้าสัมผัสตัวอย่าง B ภาพเล็กขยายให้เห็นรอยสึกที่บริเวณล่อมด้วยเส้นประ



(a)



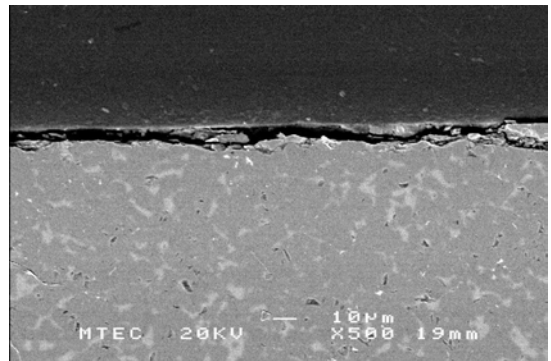
(b)

ภาพที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานหน้าสัมผัส (a)ตัวอย่าง A (b) ตัวอย่าง B

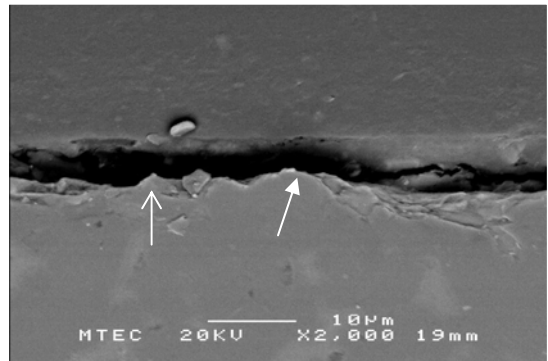
3.2.2 ลักษณะโครงสร้างภาพตัดขวาง

โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานภาพตัดขวางชิ้นงานตัวอย่าง A และ B มีรอยแตกใต้ผิวอยู่ทั่วไปซึ่งเป็นลักษณะการเสียรูปของวัสดุเปราะ[3] พิจารณาโครงสร้างจุลภาคภาพตัดขวางภาพที่ 8(a) - 8(b) พบว่าที่รอยแตกจะเห็นเป็นรูปร่างคม(ลูกศรโปร่ง ↑) ซึ่งเป็นคมของอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ยังติดอยู่และบริเวณที่ไม่คมเป็นซิลิกอนคาร์ไบด์ที่เชื่อมติด (อนุภาคSiC + in-situ SiC, ลูกศรที่บ ↓) ซึ่งจะพบอยู่ทั่วไปที่ผิว แต่แทบจะไม่พบซิลิกอนซึ่งเป็นเฟสที่อ่อนแอกว่าอยู่บนผิวซิลิกอนคาร์ไบด์เลย แสดงว่าซิลิกอนที่ผิวหลุดออกไปเร็วกว่าซิลิกอนคาร์ไบด์ แล้วตามด้วยการหลุดของซิลิกอนคาร์ไบด์ ในการหลุดของซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นได้ 2

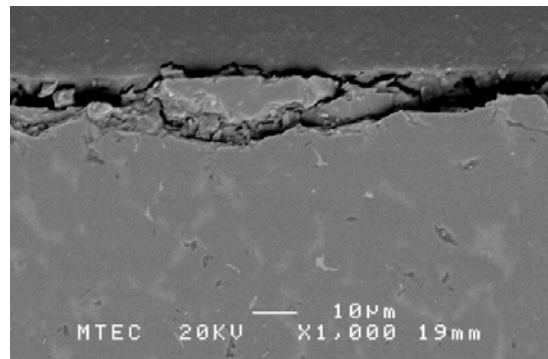
ลักษณะคือ 1) ซิลิกอนคาร์ไบด์หลุดออกมาเป็นอนุภาค เนื่องจากการยึดเกาะระหว่างอนุภาค(ซึ่งส่วนใหญ่เป็นอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์เริ่มต้นกับซิลิกอนไม่ตี จากผลการวิเคราะห์ข้างต้นสอดคล้องกับผลการทดลองของกุลจิราและกรรมกร[5] ซึ่งจะเห็นว่า จะเกิดรอยแตกได้ง่ายที่รอยต่อระหว่างอนุภาคของซิลิกอนคาร์ไบด์กับซิลิกอนที่ยึดกันไม่แข็งแรงเช่นกัน และ2) ซิลิกอนคาร์ไบด์หลุดออกมาเป็นชั้นใหญ่ (SiC+in-situ SiC) โดยรัศมีการแตกจะแตกเข้าไปในชั้นซิลิกอนซึ่งอยู่ล้อมรอบง่ายกว่าแตกเข้าไปในบริเวณ SiC+in-situ SiC ดังภาพที่ 9(c) ในสภาพการใช้งานจริงเศษผิวที่หลุดออกมานี้จะอยู่ระหว่างหน้าสัมผัสซึ่งจะเร่งให้เกิดการสึกเร็วขึ้น[6]



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 8 โครงสร้างจุลภาคภาพตัดขวางของผิวที่สึกหรือ (a)-(b) ชิ้นงานตัวอย่าง A (b) ภาพขยายของ A เพื่อให้เห็นอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์ที่ผิว (c) ตัวอย่าง B

4. สรุป

ลักษณะการสึกหรอที่เกิดระหว่างผิวหน้าของหน้าสัมผัสซิลิกอนคาร์ไบด์อาจแบ่งได้เป็นสองลักษณะ ซึ่งควบคุมโดยความแข็งแรงที่รอยต่อระหว่างผิวอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์กับเนื้อซิลิกอน กล่าวคือ ในบริเวณที่รอยต่อมีความแข็งแรงน้อย อนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์อาจหลุดออกมาจากผิวได้ ส่วนบริเวณที่รอยต่อมีความแข็งแรงมากกว่า รอยแตกจะเริ่มเกิดจากการแตกร้าเข้าไปในซิลิกอน แล้วเชื่อมต่อกันจนผิวชั้นงานหลุดออกมา ทั้งอนุภาคซิลิกอนคาร์ไบด์และผิวชั้นงานที่หลุดออกมาจะไปขูดผิวทำให้เกิดการสึกหรอมากขึ้นต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท ซีลเทค อินดัสตรีส์ จำกัด ที่อนุเคราะห์ชิ้นงานหน้าสัมผัสในการศึกษาวิเคราะห์ทดสอบ และขอขอบคุณ คุณทิพรรัตน์ สุขุมาพันธ์ ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ ที่ให้ความช่วยเหลือในการทดสอบหาค่าความเรียบผิว

6. เอกสารอ้างอิง

[1] S.Tetsuya, Y.Eiichi, K.Masaki " Effect of Grain Size on the Sliding Wear and Friction of Alumina at Elevated Temperatures", J.AM.Ceram.Soc.,82[6]1505-11(1999)

[2] www.sealtecgroup.com

[3] รายงานความก้าวหน้าฉบับ 6 เดือน เสนอต่อ บริษัทซีลเทคอินดัสตรีส์ จำกัด

[4] บริษัทซีลเทคอินดัสตรีส์ " คู่มือการใช้งาน Mechanical seal " ปีที่พิมพ์ 2545

[5] K.Sujirote และ K.Dateraksa "Effect of SiC particles on mechanical properties of Si-SiC composites" presented at ICM 9, Switzerland, May 25-29, 2003

[6] J.T.H.Pearce และ ผกามาศ แซ่ห้วง "บทที่ 4 การสึกหรอ" ใน ปณัตตา นิรนาทล้ำพงศ์ (บรรณาธิการ) การสึกหรอ ความรู้เบื้องต้นและการป้องกัน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2545, หน้า 27-48