

ผลกระทบทางกายภาพของการปนเปื้อนของอนุภาคของแข็งในตลับลูกปืน หล่อลื่นจาระบี

ลิธัตต์ มาดี*, ประมุข แยมบุญชู**

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร เลขที่ 9 ถนนแจ้งวัฒนะ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220

เดชา สุขมา***

มหาวิทยาลัยศิลปากร เลขที่ 6 ถนนราชมรรคาใน ตำบลพระปฐมเจดีย์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม 73000

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองนำอนุภาคล้างปนเปื้อน (Contamination) ที่มีขนาดใหญ่กว่าฟิล์มจาระบีใส่เข้าไปในแบร็งเพื่อตรวจสอบหารอยขีดข่วน (Abrasive) ที่เกิดขึ้นกับแบร็ง ในการทดลองได้ออกแบบชุดทดสอบแบร็ง ซึ่งสามารถทดสอบได้พร้อมกัน 2 ตลับ ซึ่งใช้มอเตอร์ขนาด 1 HP 3P เพื่อหมุนเพลาลูกเบี้ยวที่มีชุดแบร็งติดตั้งอยู่ และสามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ด้วย Inverter โดยใช้ความเร็วที่ 1,450 RPM การทดลองแบ่งออกเป็น 7 การทดลองใช้เวลาในการทดลอง 240 นาที/ครั้ง อนุภาคที่ใช้ในการทดลองคือ ทรายละเอียด (Sand) ทรายที่ได้จากกระดาษทราย เศษผงใบตัดใบเจียร์ ผงเศษโลหะจากการตัด (Dust Cutting) ครีมหัด (Rubbing Compound) และหิน (Stone) อนุภาคล้างปนเปื้อนที่ใส่เข้าไปแบร็งมีขนาดแตกต่างกันทั้งสามขนาด คือ อนุภาคที่มีขนาด 300 – 700 ไมครอน อนุภาคที่มีขนาด 800 – 1000 ไมครอน และอนุภาคที่มีขนาด 3-5 มิลลิเมตร ผลที่ได้จากการทดลองด้วยการผ่าแบร็ง แล้วตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope Camera) พบว่า ร่องวงใน (Inner Race) ร่องวงนอก (Outer Race) และเม็ดลูกปืน (Ball) ซึ่งทั้งสามส่วนไม่พบรอยขีดข่วนเกิดขึ้นกับการใช้ทรายละเอียด ทรายที่ได้จากกระดาษทราย ผงเศษโลหะจากการตัด (Dust Cutting) ครีมหัด (Rubbing Compound) และหิน (Stone) แต่สามารถพบเห็นรอยขีดข่วนที่เม็ดลูกปืน จากการใช้เศษผงหินเจียร์ใส่เข้าไป จะพบว่า ภายใต้งานที่ความเร็ว 1,450 RPM และเวลาในการทดลอง 240 นาที/ครั้ง อนุภาคของฟิล์มจาระบีที่มีขนาด 50 -150 ไมครอน ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของวัสดุที่นำมาใส่เข้าไปในแบร็ง สามารถป้องกันรอยขีดข่วนหรือขีดข่วนได้ แต่สำหรับเศษผงใบตัดใบเจียร์ที่มีความแข็งสูงสามารถทำให้เกิดรอยขีดข่วนได้เช่นกัน

คำสำคัญ : จาระบีปนเปื้อน, อนุภาคของแข็งในจาระบี, สารหล่อลื่นปนเปื้อน

* อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

** อาจารย์ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

*** อาจารย์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

Physical effects of Solid Particulate Contamination in Grease-Lubricated Ball Bearings

Sitthut Madee¹, Dacha Sukma², Pramook Yamboonchu³

Phranakhon Rajabhat University, 9 Changwattana Road, Bangkok Bangkok, 10220, Thailand

Abstract

This research was conducted on contaminated particles which are larger than the grease film into the bearings to investigate for abrasion failure generally occurs on ball bearings. In the experiment, the bearing design was tested in two cages can be tested simultaneously using a 1 HP 3P motor to rotate the shaft with the bearing set installed. The speed of the motor inverter can be adjusted with a speed of 1,450 RPM. The experiment is divided into 7 experiments. The experiment time setting is 240 minutes / time. There are six types of solid particles used in the experiment, the sand particles, Grinding powder, Dust Cutting, Rubbing Compound, Stone, the sand paper and particles of cutting tool. Particles of contaminants that enter the bearings are different sizes. The results of the experiments by using the microscope camera for investigating have found that the Inner Race, the Outer Race, and the Ball, all three of which do not have any scratches from the contaminations of Sand made of sandpaper, Dust Cutting, Rubbing Compound, Fine sand and Stone, but can be scratched on the Ball and dented into the Inner Race from the use of cutting tool particles. It was found that under a speed of 1,450 RPM and a trial time of 240 minutes / time. The particle size of the grease film was 50-150 microns, which is smaller than the particle material entered into the Bearings.

Keywords: Grease, solids particle in grease, Grease contaminants

* Lecturer, Industrial Management Technology, Faculty of Industrial Technology

** Lecturer, Industrial Management Technology, Faculty of Industrial Technology

*** Department of Physics, Faculty of Science

1. บทนำ

ลูกปืน(Bearing) เป็นส่วนประกอบที่มักใช้หมุนระบบเครื่องกลและเครื่องจักรจำนวนมาก ในตลับลูกปืนแบบลูกกลิ้ง (Ball Bearing) ขณะใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีฝุ่นหรือเศษโลหะต่างๆ มักมีการปนเปื้อนของสารหล่อลื่นจาระบีจากอนุภาคปนเปื้อนต่างๆที่มาจากสภาพแวดล้อมที่สกปรก มีฝุ่นมากๆเช่น การใช้งานเครื่องจักรในเหมือง การบดหิน การบดวัสดุของแข็งอื่นๆ เป็นต้น ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดความเสียหายของแบริ่งในอุตสาหกรรมงานวิจัยชิ้นนี้เกี่ยวข้องกับการศึกษาผลกระทบทางกายภาพจากการปนเปื้อนของสารหล่อลื่นจาระบี ด้วยของแข็ง เศษวัสดุต่างๆ ที่นำมาทดสอบกับพฤติกรรมกลการสึกหรบหรือเสียหายที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากอนุภาคของแข็งเหล่านี้ ซึ่งประกอบด้วย ทรายละเอียด เศษผงจากการตัดโลหะ (Dust Cutting) ครีมีขัด (Rubbing Compound) หิน (Stone) ทรายจากกระดาษทราย เศษผงหินเจียร ในปัจจุบันมีการศึกษาผลกระทบของอนุภาคปนเปื้อนกับสารหล่อลื่นจาระบีและสารหล่อลื่นประเภทน้ำมันหล่อลื่นด้วยอนุภาคของแข็ง เพื่อศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมพลวัตของแบริ่ง ในเหมืองถ่านหินและการใช้งานในสภาพแวดล้อมอื่นๆ โดยใช้อุณหภูมิปนเปื้อนขนาดต่างๆ เข้าไปปนเปื้อนในสารหล่อลื่นจาระบีและน้ำมันหล่อลื่น รวมทั้งการปรับความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในปริมาณต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาวะการใช้งานในแต่ละสภาวะด้วย เนื่องจากขนาดของอนุภาคปนเปื้อนที่แตกต่างกันไปสำหรับแต่ละการทดลอง เพื่อศึกษาค่าการสั่นสะเทือนที่ได้ด้วยวิธี Root Mean Square (RMS) โดยโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ FFT M. M. Maru ดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการศึกษาของการปนเปื้อนของแข็งในตลับลูกปืน โดยศึกษาผลกระทบตอลูกปืน ผ่านการสั่นสะเทือนและทำการวิเคราะห์ตรวจสอบผลกระทบของการปนเปื้อนของน้ำมันหล่อลื่นโดยการปนเปื้อนของแข็งในการทำงานแบบไดนามิกของแบริ่ง โดยได้ทำการทดสอบกับตลับลูกปืนแบบร้อมมีหล่อลื่นด้วยน้ำมันและได้ข้อสรุปว่า สารปนเปื้อนในสารหล่อลื่นทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือนในตลับลูกปืน นอกจากนี้ V.Hariharan ได้ศึกษาผลกระทบของสารปนเปื้อนที่เป็นของแข็งในน้ำมันหล่อลื่น ใช้ผงซิลิกาเป็นสารปนเปื้อนสามระดับความเข้มข้นและใช้ขนาดของอนุภาคที่แตกต่างกันสามขนาด ผลการวิจัยพบว่า การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารปนเปื้อนและขนาด

อนุภาค ทำให้เกิดความสั่นสะเทือนและความเสียหายตอลูกปืน (Bearing) Juha Miettinen สังเกตการปล่อยคลื่นเสียงของการกลิ้งของลูกปืนในแบริ่งซึ่งหล่อลื่นด้วยจาระบีที่ปนเปื้อน ได้ข้อสรุปว่า อนุภาคขนาดเล็กที่ปนเปื้อนสร้างเสียงอะคูสติกที่สูงขึ้นมากกว่าอนุภาคขนาดใหญ่ ซึ่งวิธีการวิเคราะห์สัญญาณการแผ่รังสีอะคูสติกเป็นวิธีที่ดีกว่าวิธีการบ่งชี้ความแข็งแรงของอนุภาคสารปนเปื้อน S. Raadnui ทดสอบรอยบุ๋มจากเศษที่สึกหรบจากการขึ้นรูปโดยแบริ่งที่หล่อลื่นด้วยจาระบี ได้ประเมินผลกระทบของกระแสไฟฟ้าตอลูกปืนแบบลูกกลิ้ง สรุปได้ว่าอนุภาคการสึกหรบของรอยต่อไฟฟ้าแสดงเป็นรูปแบบเฉพาะ Lars Kahlman ดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับผลกระทบการปนเปื้อนของอนุภาคในน้ำมันหล่อลื่นที่หล่อลื่นด้วยจาระบี โดยใช้ควอตซ์เป็นสารปนเปื้อน นำมาหล่อลื่นและทำการทดลองผลการวิจัยพบว่า ขนาดของอนุภาคไททาเนียมขนาดเล็กช่วยให้การหล่อลื่นดีขึ้น ทำให้อุณหภูมิในการทำงานต่ำภายใต้โหลดสูง P.Kamalesan ดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับการสั่นสะเทือน โดยศึกษาเกี่ยวกับตลับลูกปืนที่มีการปนเปื้อนของแข็งในสารหล่อลื่น ได้ทำการตรวจสอบแบริ่งที่มีสภาพดีและมีข้อบกพร่องภายใต้เงื่อนไขตลับลูกปืนที่ปนเปื้อนและไม่ปนเปื้อน จากงานวิจัยพบว่าระดับการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเมื่อสารปนเปื้อนมีขนาดเพิ่มขึ้น N. Tandon ศึกษาจาระบีที่ใช้ในตลับลูกปืนของมอเตอร์ไฟฟ้า จาระบีหล่อลื่นมักถูกปนเปื้อนจากอนุภาคหรืออนุภาคภายนอก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าระดับการสั่นสะเทือน การปล่อยคลื่นความถี่ของอะคูสติกและกระแสไฟฟ้าของ สเตเตอร์เพิ่มขึ้นเมื่อระดับสารปนเปื้อนและขนาดของสารปนเปื้อนที่เพิ่มขึ้น Gagan Singotia ดำเนินการทดลองเพื่อการศึกษาสารปนเปื้อนที่เป็นของแข็งต่างๆในตลับลูกปืน โดยใช้เทคนิคต่างๆวิเคราะห์การสั่นสะเทือนในตลับลูกปืน พบว่าระดับการสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดอนุภาคและปริมาณเพิ่มขึ้น

D. Koulocheris & A. Stathis ศึกษาจาระบีที่ปนเปื้อน ซึ่งใช้ขนาดอนุภาคและความแข็งแรงแตกต่างกัน ดำเนินการตรวจสอบด้วยแสงโดยใช้กล้อง Stereoscope พบว่าการสึกหรบรุนแรงขึ้นเมื่อมีอนุภาคที่แข็งขึ้น

Sumit. S. Nawale & P. D. Kulkarni ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของลูกปืนแบริ่งโดยพิจารณาผลของสารปนเปื้อนในน้ำมันหล่อลื่นในตลับลูกปืนร้อมลูก พบว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของ

สารปนเปื้อนและขนาดอนุภาค มีผลต่อการสัมผัสเทือนของตลับลูกปืน โดยปริมาณและขนาดอนุภาคที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความสั่นสะเทือนเพิ่มขึ้นเช่นกัน

2. วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ชุดทดสอบ

ชุดทดสอบผลกระทบทางกายภาพของการปนเปื้อนของอนุภาคในตลับลูกปืนหล่อลื่นจาระบีนี้ สร้างประกอบขึ้นเอง โดยการจำลองรูปแบบจากการใช้งานจริงใน ภาคอุตสาหกรรมทั่วไป ซึ่งการทดลองนี้ใช้ลูกปืนแบบลูกกลิ้ง NSK 6001ZZ (Specifications of Deep Groove Ball Bearing 6001ZZ) และคุณสมบัติลูกปืนแบบลูกกลิ้ง



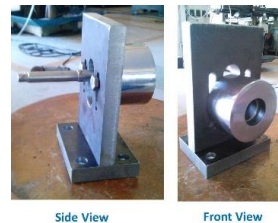
รูปที่ 1 ชุดทดสอบแบร้ง (Abrasive Testing Machine)



รูปที่ 3 ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์

NSK 6001ZZ (Specifications of Deep Groove Ball Bearing 6001ZZ) ได้แสดงไว้ตามตารางที่ 1 ในส่วนของวัสดุที่นำมาปนเปื้อนในจาระบีมีสมบัติทางกายภาพเบื้องต้นตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 2 สำหรับการตรวจสอบแบร้งที่ผ่านการทดลองแล้ว จะใช้กล้อง Microscope Camera ตามรูปที่ 5 และส่วนประกอบต่างๆ ของชุดทดสอบแสดงไว้ตามรูปที่ 1 ถึงรูปที่ 4 ดังต่อไปนี้

1. ชุดทดสอบแบร้ง (Abrasive Testing Machine)
2. ชุดปรับความเร็วรอบมอเตอร์ (Inverter)
3. ชุดตั้งเวลา (Timer)
4. กล้องไมโครสโคป (Microscope Camera)



รูปที่ 2 ชุดติดตั้งแบร้ง



รูปที่ 4 ชุดตั้งเวลา



รูปที่ 5 กล้องไมโครสโคป (Microscope Camera)

2.2 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1. แบริ่ง NSK 6001ZZ จำนวน 15 ตัว
2. ทราเยละเอียด ขนาด 800 -1000 ไมครอน
3. ผงเศษจากการตัด (Dust Cutting) ขนาด 300 – 700 ไมครอน
4. ครีมหัด (Rubbing Compound)
5. หิน (Stone) ขนาด 3 – 5 มิลลิเมตร
6. ทราเยจากกระดาษทราย
7. เศษผง หินเจียร



รูปที่ 6 แบริ่งและทราเย

Test 3 (Dust Cutting)



รูปที่ 7 แบริ่งและผงเศษจากการตัด (Dust Cutting)

Test 4 (Rubbing Compound)



รูปที่ 8 แบริ่งและครีมหัด (Rubbing Compound)

Test 5 (Stone)



รูปที่ 9 แบริ่งและหิน (Stone)



รูปที่ 10 แบริ่งและทราเยจากกระดาษทราย



รูปที่ 11 แบริ่งและเศษผงใบตัดใบเจียร

ตารางที่ 1 คุณสมบัติลูกปืนแบบลูกกลิ้ง NSK 6001ZZ (Specifications of Deep Groove Ball Bearing 6001ZZ)

คุณสมบัติ	Value
Inside Diameter	12 mm
Outside Diameter	28 mm
Ball Bearing Type	Deep Groove
Race Width	8 mm
End Type	Shielded
Number of Rows	1
Static Load Rating	2.37 kN
Material	Steel
Cage Material	Steel
Race Type	Plain
Dynamic Load Rating	5.1 kN
Bore Type	Parallel

ตารางที่ 2 สมบัติทางกายภาพเบื้องต้นของวัสดุปนเปื้อน

ลำดับ	อนุภาคปนเปื้อนในจาระบี (Contamination)	ขนาดอนุภาค (Particle size)
1	จาระบีสะอาด	24-74 micron
2	ทรายละเอียด	28 mesh
3	เศษโลหะจากการตัด	300 – 800 micron
4	Rubbing compound	1 – 4 micron
5	หิน	1 – 5 mm
6	ทรายจากกระดาษทราย	120 mesh
7	เศษผงใบตัดใบเจียร	120 – 28 mesh

3. ระเบียบวิธีการทดลอง

ติดตั้งแบริ่ง (Non Contamination) จำนวนสองตัวลงในชุดเสื้อแบริ่ง ดังรูปที่ 2 แล้วนำไปประกอบติดตั้งกับมอเตอร์ ดังรูปที่ 1 จากนั้นทำการตั้งค่าความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ 1450 RPM ตั้งค่าเวลาในการทดลองที่ 4 ชั่วโมง และทำการ Run ชุดทดสอบแบริ่ง เมื่อสิ้นสุดการทดลอง นำแบริ่งออกจากชุดทดสอบทั้งสองตัว นำเข้าเครื่องตัดแบริ่งออกเป็นสองส่วน ทั้งนี้แบริ่งที่ตัดออกมาจะประกอบด้วย 3 ส่วนที่จะใช้ในการวิเคราะห์หารอยขีดคือ รางวงใน (Inner Race) รางวงนอก (Outer Race)

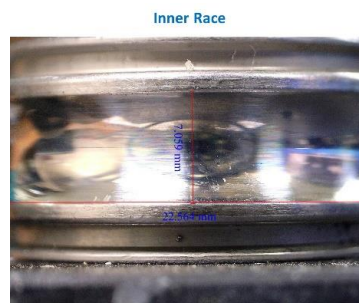
และลูกปืน (Ball) ซึ่งจะได้ดังรูปที่ 12 จากนั้นทำการตรวจสอบทางกายภาพของชิ้นส่วนรางวงใน (Inner Race) รางวงนอก (Outer Race) และลูกปืน (Ball) ด้วยกล้องไมโครสโคป (Microscope Camera) บันทึกการทดลอง จากนั้นทำการทดสอบกับแบริ่งกับวัสดุปนเปื้อนเป็นอื่นๆ ตามตารางที่ 2 ซึ่งประกอบไปด้วยทรายละเอียด เศษโลหะจากการตัดครีมหัด (Rubbing compound) หิน ทรายจากกระดาษทรายและผงใบตัดใบเจียร ตามลำดับโดยทำการทดลองตามข้อ 2 – 6



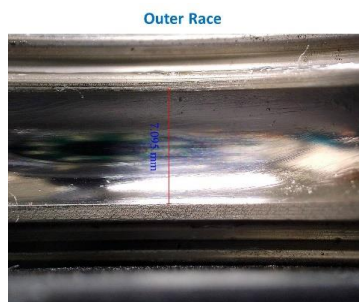
รูปที่ 12 แบริ่งที่ผ่านการตัดแล้ว

4. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ในการทดลองจะใช้แบริ่งใหม่ อีกหนึ่งตัว นำมาตัดแบ่งครึ่งเพื่อเป็นตัวเปรียบเทียบกับ 7 ชุดที่ทดสอบผ่านมา ซึ่งแสดงดังรูปที่ 13-15



รูปที่ 13 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวงใน (Inner Race) ของแบริ่งใหม่



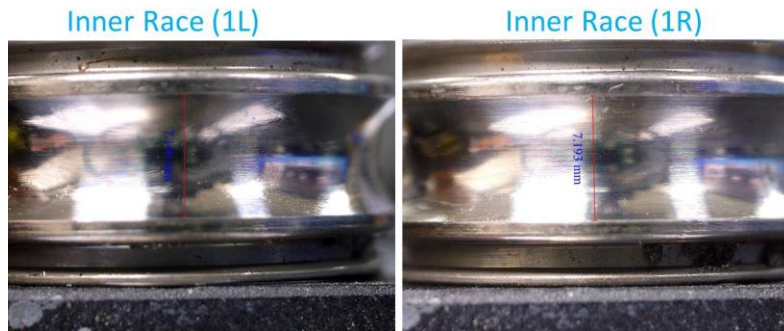
รูปที่ 14 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวงนอก (Outer Race) ของแบริ่งใหม่



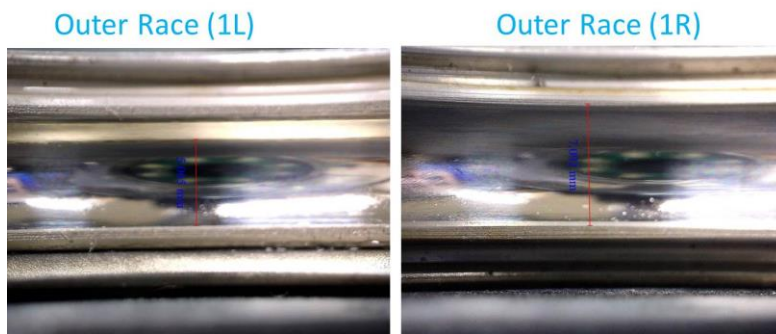
รูปที่ 15 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของลูกปืน (Ball) ของแบริ่งใหม่

ผลการทดลองที่ 1 Non Contamination จากการตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป จากแบร้งจำนวน 2 ตลับ ด้วยการตรวจสอบจากรางวิ่งใน รวงวิ่งนอก และลูกปืน ไม่พบ

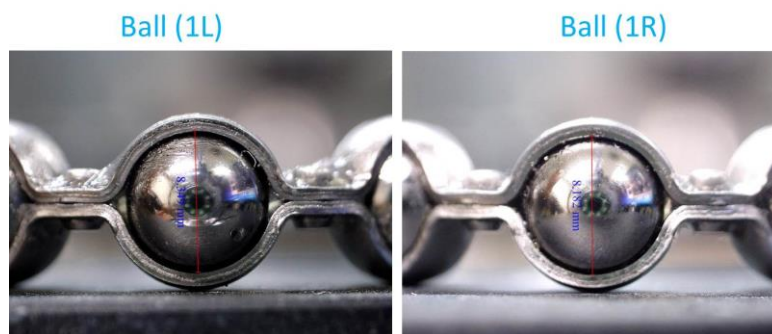
ความผิดปกติจากการขัดสี หรือการเกิดรอยกับชิ้นส่วนทั้งสามแต่อย่างใด ผิวงานที่ชุบผิวมายังมีความเงา ไม่แตกต่างกับผิว New Bearing ใหม่เลย ดังแสดงไว้ตามรูปที่ 16-18



รูปที่ 16 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งใน (Inner Race) ของแบร้ง Non Contamination



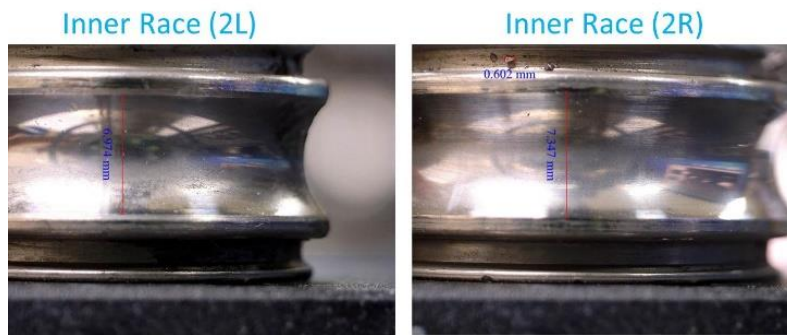
รูปที่ 17 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งนอก (Outer Race) ของแบร้ง Non Contamination



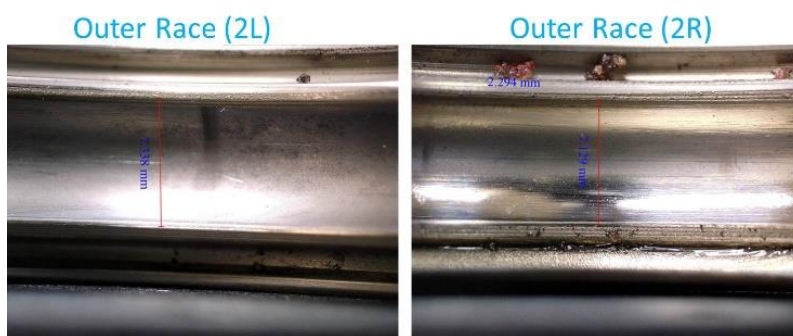
รูปที่ 18 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของลูกปืน (Ball) ของแบร้ง Non Contamination

ผลการทดลองที่ 2 ทรายละเอียด(Sand) จากการตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป จากแบร้งจำนวน 2 ตลับ ด้วยการตรวจสอบจากรางวิ่งใน รวงวิ่งนอก และลูกปืน ไม่

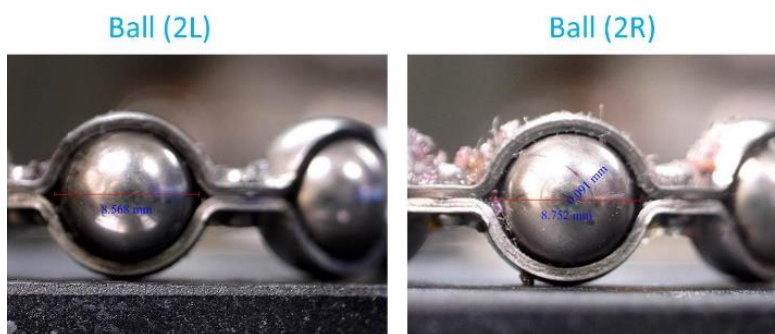
พบความผิดปกติจากการขัดสี หรือการเกิดรอยกับชิ้นส่วนทั้งสามแต่อย่างใด ผิวงานที่ชุบผิวมายังมีความเงาลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผิว New Bearing เลย ดังรูปที่ 19-21



ภาพที่ 19 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งใน (Inner Race) ของแบริ่ง Sand



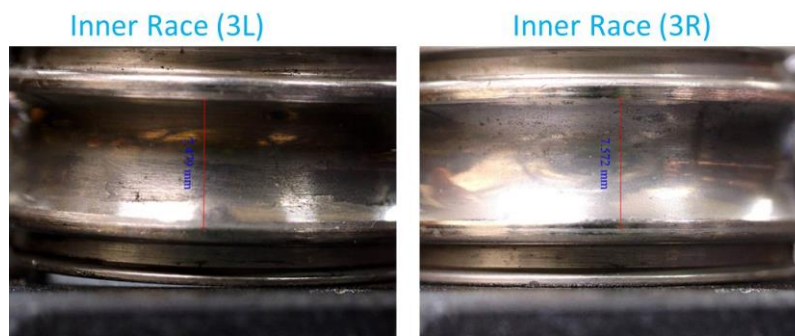
ภาพที่ 20 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งนอก (Outer Race) ของแบริ่ง Sand



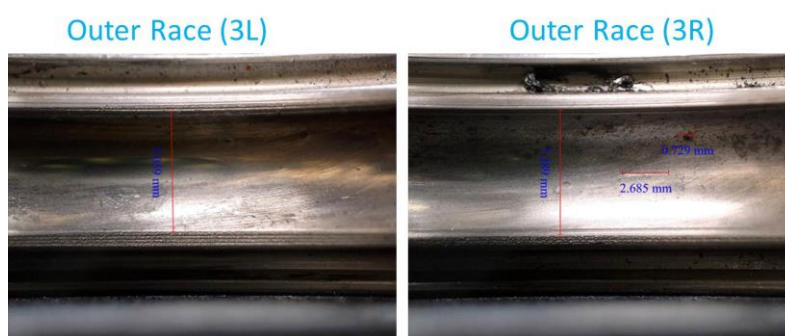
ภาพที่ 21 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของลูกปืน (Ball) ของแบริ่ง Sand

ผลการทดลองที่ 3 เศษผงจากการตัดโลหะ(Dust Cutting) จากการตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป จากแบริ่งจำนวน 2 ตลับ ด้วยการตรวจสอบจากรางวิ่งใน รางวิ่งนอก และลูกปืน ไม่พบความผิดปกติจากการขัดสี

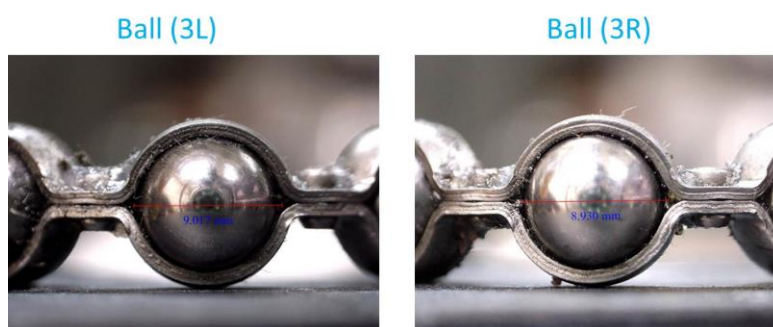
หรือการเกิดรอยกับชิ้นส่วนทั้งสามแต่อย่างไร ผิวงานที่ชุบ ผิวมายังมีความเงาลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับผิว New Bearing เลย ดังรูปที่ 22-25



รูปที่ 22 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งใน (Inner Race) ของแบริ่ง Dust Cutting



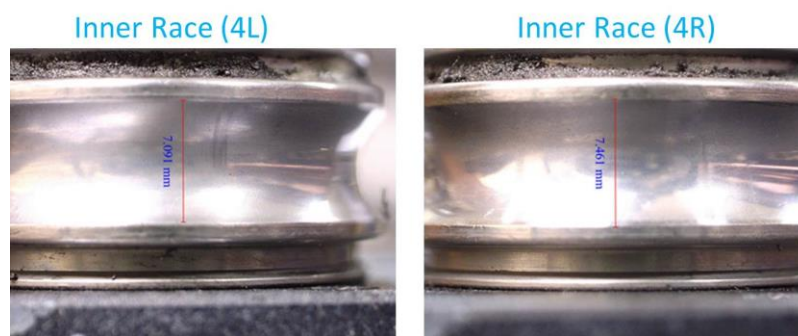
รูปที่ 24 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งนอก (Outer Race) ของแบริ่ง Dust Cutting



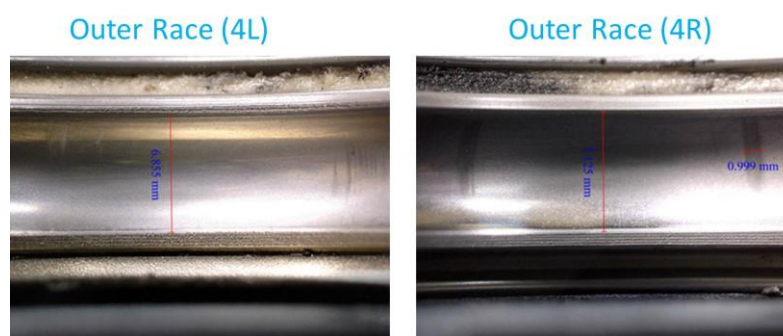
รูปที่ 25 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของลูกปืน (Ball) ของแบริ่ง Dust Cutting

ผลการทดลองที่ 4 ครีมีซัด (Rubbing Compound)
จากการตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป จากแบริ่งจำนวน 2 ตัว ด้วยการตรวจสอบจากรางวิ่งใน รางวิ่งนอก และ ลูกปืน ไม่พบความผิดปกติจากการขัดสี หรือการเกิดรอย

กับชิ้นส่วนทั้งสามแต่อย่างไร ผิวงานที่ชุบผิวมายังมีความเงาลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผิว New Bearing เลย ดังรูปที่ 26-28



รูปที่ 26 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งใน (Inner Race) ของแบริ่ง Rubbing Compound



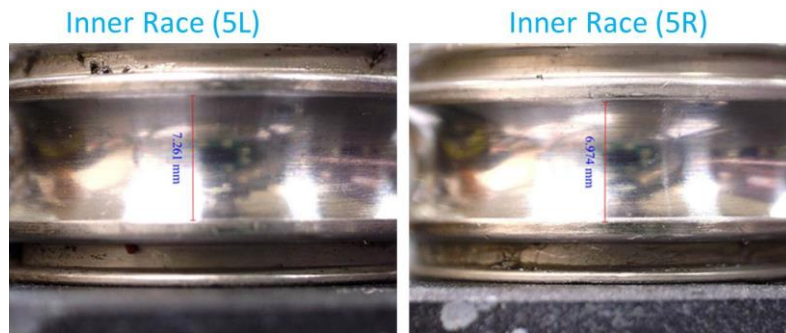
รูปที่ 27 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งนอก (Outer Race) ของแบริ่ง Rubbing Compound



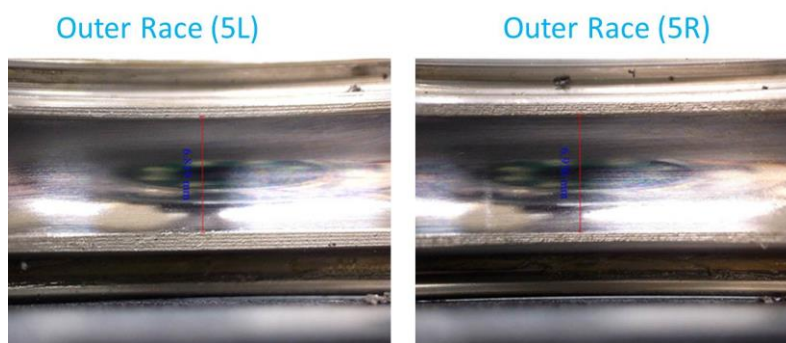
รูปที่ 28 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของลูกปืน (Ball) ของแบริ่ง Rubbing Compound

ผลการทดลองที่ 5 หิน(Stone) จากการตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป จากแบริ่งจำนวน 2 ตัว ด้วยการตรวจสอบจากรางวิ่งใน รางวิ่งนอก และลูกปืน ไม่พบความ

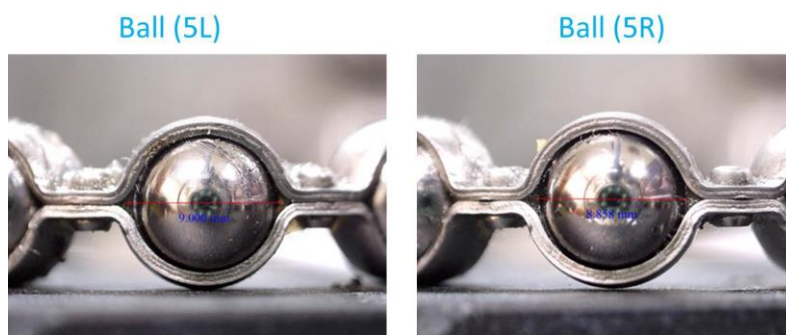
ผิดปกติจากการขัดสี หรือการเกิดรอยกับชิ้นส่วนทั้งสามแต่อย่างใด ผิวงานที่ชุบผิวมายังมีความเงาตลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผิว New Bearing เลย ดังรูปที่ 29-31



รูปที่ 29 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งใน (Inner Race) ของแบริ่ง Stone



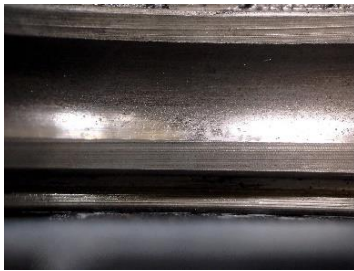
รูปที่ 30 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของรางวิ่งนอก (Outer Race) ของแบริ่ง Stone



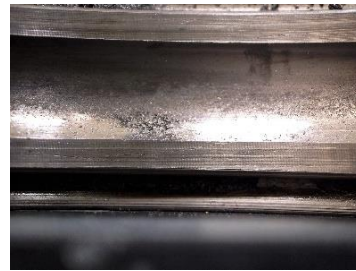
รูปที่ 31 ภาพถ่ายด้วยกล้องไมโครสโคปแสดงผิวของลูกปืน (Ball) ของแบริ่ง Stone

ผลการทดลองที่ 6 ผงทรายจากกระดาษทราย จากการตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป จากแบริ่งจำนวน 2 ตลับ ด้วยการตรวจสอบจากรางวิ่งใน รางวิ่งนอก และ ลูกปืน ไม่พบความผิดปกติจากการขัดสี หรือการเกิดรอย

กับชิ้นส่วนทั้งสามแต่อย่างใด ผิวงานที่ชุบผิวมายังมีความเงาลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผิว New Bearing เลย ดังรูปที่ 32 – 34



รูปที่ 32 รางวี่งภายนอก ลูกปืนตัวที่ 1



รูปที่ 33 รางวี่งภายนอก ลูกปืนตัวที่ 2



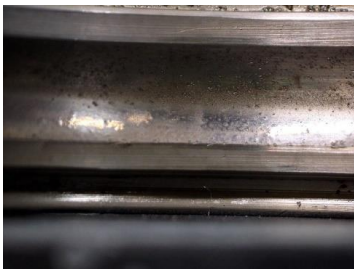
รูปที่ 34 รางวี่งภายใน ลูกปืนตัวที่ 1



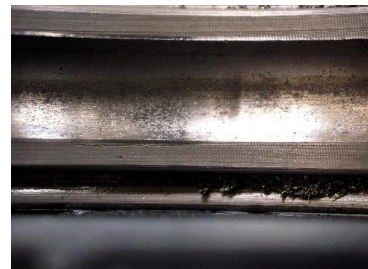
รูปที่ 35 เม็ดลูกกลิ้ง ลูกปืนตัวที่ 1

ผลการทดลองที่ 7 เศษผงใบตัดใบเจียร จากการตรวจสอบด้วยกล้องไมโครสโคป จากแบริ่งจำนวน 2 ตลับ ด้วยการตรวจสอบจากรางวี่งในพบรอยบวม รางวี่งนอก

สภาพไม่เงา และลูกปืนพบความผิดปกติจากการขัดสี มีรอยขีดเป็นเส้นเล็กๆ ความเงาลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผิว New Bearing ดังไว้ตามรูปที่ 36 – 39



รูปที่ 36 รางวี่งภายนอก ลูกปืนตัวที่ 1



รูปที่ 37 รางวี่งภายนอก ลูกปืนตัวที่ 2



รูปที่ 38 รางวี่งภายใน ลูกปืนตัวที่ 1



รูปที่ 39 เม็ดลูกกลิ้ง ลูกปืนตัวที่ 1

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองนำอนุภาคนาโนขนาดต่างๆที่มีขนาดโตกว่าขนาดของฟิล์มจาระบี โดยการนำอนุภาคนาโนขนาดต่างๆใส่เข้าไปในแบร้งและทำการทดลองวิ่งด้วยเครื่องทดลองเป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อตรวจหารอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นกับแบร้งจากทั้งสามส่วน ซึ่งประกอบด้วย รางวิ่งใน (Inner Race) รางวิ่งนอก (Out Race) และลูกปืน (Ball) ผลจากการทดสอบด้วยกล้องไมโครสโคปแบร้งทั้ง 12 ไม่รวมชุดที่เป็นจาระบีสะอาดและตลับที่นำมาผ่าเปรียบเทียบกับไม่พบรอยขีดข่วนเกิดขึ้นกับส่วนใดของแบร้งเลย ทั้งนี้อนุภาคนาโนขนาดต่างๆที่นำมาใส่ในแบร้งอาจมีค่าความแข็งน้อยกว่าค่าความแข็งของแบร้ง ซึ่งมีค่าความแข็งประมาณ 60 – 62 HRC แต่มีเพการทดลองชุดที่ใส่เศษผงใบตัดใบเจียรเท่านั้นที่พบรอยบุบบนรางวิ่งใน (inner race) และพบรอยขีดข่วนเป็นเส้นเล็กๆบนลูกปืน(Ball) อาจเป็นผลมาจากความแข็งของเศษหินเจียรที่มีมากกว่า Bearing

6. เอกสารอ้างอิง

1. Maru, M.M., and Castillo R.S., 2007, “Study of Solid Contamination in Ball Bearings through Vibration and Wear Analyses”, Tribology International, 40. pp. 433–440.
2. Hariharan, V., 1885, “Condition Monitoring Studies On Ball Bearings Considering Solid Contaminants In The Lubricant”, Proc. Imech Vol. 224 Part C: J. Mechanical Engineering Science JMES.
3. Juha M., 2000, “Influence Acoustic Emission of Rolling Bearings Lubricated with Contaminated Grease”, Tribology International 33, pp. 777–787.
4. Raadnui, S. and Kleesuan, S., 2011, “Electrical Pitting Wear Debris Analysis of Grease-Lubricated Rolling Element Bearings”, Wear 271, pp. 1707– 1718.
5. Lars, K. and Ian M. H., “Effect of Particulate Contamination in Grease-Lubricated Hybrid Rolling Bearings”, Tribology Transactions, pp. 842-850.
6. Kamalesan P., 2016, Vibration Studies On Ball Bearing Considering Solid Contaminant In Lubricants, South Asian Journal of Engineering and Technology Vol.2, No.23, pp. 121.
7. Tandon N., 2007, “Condition Monitoring of Electric Motor Ball Bearings for the Detection of Grease Contaminants”, Tribology International 40, pp. 29–36.
8. Gagan S., 2013, “Experimental Study of Various Solid Contamination in Ball Bearings”, IJERT Issue 3, Vol.5, ISSN 2249-61.
9. Koulocheris and A. Stathis, 2014, “Experimental Study of the Impact of Grease Particle Contaminants on Wear and Fatigue Life of Ball Bearings”, Engineering Failure Analysis, 39, pp.164–180.
10. Sumit, S., Nawale & Kulkarni, P. D., 2017, “Vibration Analysis of Ball Bearing Considering Effect of Contaminant in Lubricant”, International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 8, Issue 4, ISSN 2229-5518.