

การแตกหักที่เกิดจากการเสียดสีแบบเลื่อนไถลของผิวฮาร์ดโครม

Rolling sliding fatigue of Hard-chrome surface

ณภัทร อินทนนท์, ประพันธ์¹ ยาวระ และ ฉัตรแก้ว สุริยะภา¹

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี (วิทยาเขตขอนแก่น)

150 ถนนศรีจันทร์ ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40000

โทร. 086 - 6356986 Email : mppm345@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการแตกหักของผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบฮาร์ดโครมมาก่อน และมีกลไกการเสียดสีแบบเลื่อนไถลแบบหมุน โดยศึกษาจากชิ้นงานที่เป็นสแตนเลสหล่อ และนำไปชุบฮาร์ดโครม มีความหนาของผิวชุบเท่ากับ 50 ไมครอน การทดสอบการแตกหักครั้งนี้ใช้เครื่องทดสอบที่สร้างขึ้น ตามหลักการของการทดสอบแบบเคลื่อนที่ไปกลับ โดยลูกกลิ้งที่ใช้ทดสอบผลิตจากไนลอน 6,6 แรงที่ใช้กดเท่ากับ 8 นิวตัน ระยะของการเคลื่อนที่เท่ากับ 1.5 เซนติเมตร ความเร็วของการเคลื่อนที่ 250 รอบต่อนาที ระยะเวลาในการทดสอบรวม 640 นาที การวิเคราะห์ผลการทดสอบโดยการวิเคราะห์น้ำหนักที่หายไป และการวิเคราะห์ลักษณะผิวของชิ้นงานด้วยกล้องอิเล็กตรอนแบบส่องกวาด ผลการทดสอบพบว่า ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการชุบฮาร์ดโครม มาก่อนจะมีรอยแตกที่ผิวอันเกิดจากความเค้นตกค้างที่เกิดจากกระบวนการชุบ และรอยแตกจะมีขนาดกว้างขึ้น เมื่อระยะเวลาของการทดสอบเพิ่มขึ้น และผิวของชิ้นงานก็จะมีหลุดออกไปและทำให้น้ำหนักที่หายไปเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : การแตกหักของผิว การเลื่อนไถลแบบลูกกลิ้ง ฮาร์ดโครม การทดสอบการสึกหรอชนิดเคลื่อนที่ไปกลับ

Abstract

The purpose of this research is to investigate the fracture surface of hard-chrome electro-plating surface and it has rolling sliding mechanism contact. The specimen as a casting stainless steel and coating by hard-chrome electro-plating process. The thickness of coating surface was 50 microns. The fracture test was performed using in house built-in tester, based on the testing condition of reciprocating wear testing. The rolling was made of nylon 6,6 and the normal load as 8 N. and the stroke of reciprocating is 1.5 cm. and reciprocating speed is 250 rpm. The total test time was 640 minutes. The weighted loss was used to fracture analysis and surface analysis by scanning electron microscope. The results showed that the hard-chrome coating surface was have a micro crack that caused by the residual stress of the

electro-plating process. The crack was increase when the testing time was increase. The increased of weighted loss was due to worn out of the surface.

Keyword : Surface fracture, Rolling sliding, Hard-chrome, Reciprocating wear testing

1. บทนำ

เครื่องจักรในอุตสาหกรรมสมัยใหม่ส่วนใหญ่เป็นเครื่องจักรอัตโนมัติ มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ในขณะการทำงานเป็นจำนวนมาก และการเคลื่อนที่นั้นเป็นการเคลื่อนที่ซ้ำในตำแหน่งเดิม เช่นการเคลื่อนที่เข้าออกของลูกสูบไฮดรอลิก นิวเมติก การหมุนของแขนกล การเคลื่อนที่เข้าออกของชุดเคลื่อนที่ต่างๆ เป็นต้น เมื่อใช้งานไปนานๆ ชิ้นส่วนที่สัมผัสเสียดสีกันนั้นจะเกิดการสึกหรออย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ [1] การสึกหรอที่เกิดขึ้นมักจะเป็นการสึกหรอเฉพาะจุด ลักษณะของการสึกหรอมีทั้งการสึกหรอที่เป็นลักษณะการขัดถู (Adhesive wear) การสึกหรอแบบขัดสี (Abrasive wear) และการสึกหรอที่เป็นแบบแตกหัก (Fatigue wear) ทั้งนี้ แม้ว่าแรงที่กระทำกับชิ้นงานมีขนาดเล็ก และลักษณะของการเสียดสีเป็นแบบลูกกลิ้งก็ตาม [2]

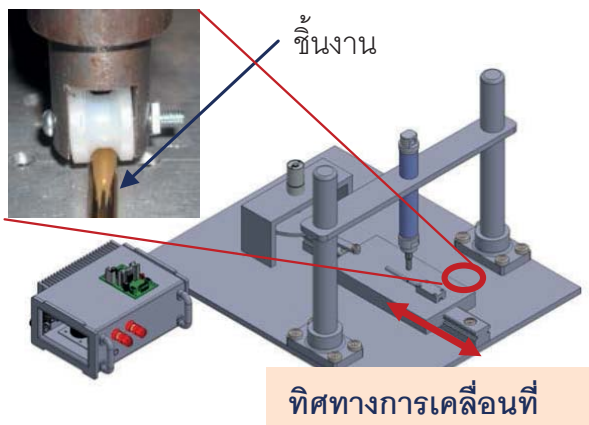
การเคลือบผิวชิ้นงานด้วยการชุบฮาร์ดโครมส่วนใหญ่มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันการสึกหรอของผิวชิ้นงานที่เกิดจากการเสียดสี ทั้งนี้เพราะการชุบฮาร์ดโครม สามารถเพิ่มความแข็งของผิวชิ้นงานได้สูงถึง 65 HRC [3] และผิวชิ้นงานมีความเรียบอยู่ในระดับดี และนอกจากนั้นการผิวชิ้นงานที่ผ่านการชุบฮาร์ดโครมยังสามารถทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดีกว่าผิวที่เป็นโลหะธรรมดา ดังนั้นชิ้นส่วนที่ใช้ในเครื่องจักรอัตโนมัติหลายอย่างจึงมีการเคลือบผิวด้วยการชุบฮาร์ดโครม อย่างไรก็ตามแม้ว่าผิวชุบจะมีสมบัติเชิงกลที่ดี แต่ก็ยังไม่สามารถที่จะต้านทานการสึกหรอได้ โดยเฉพาะการสึกหรอในลักษณะการ

แตกหัก ที่เป็นผลมาจากการสัมผัสในลักษณะลูกกลิ้งเคลื่อนที่ไปมา (Rolling sliding fatigue) เพื่อเป็นการป้องกันและเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านทานการสึกหรอในลักษณะดังกล่าว ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาถึงลักษณะของการเกิดการแตกหักของผิว และองค์ประกอบที่ทำให้เกิดการแตกหัก เพื่อที่จะหาวิธีป้องกันไม่ให้เกิดการแตกหักของผิวหรืออัตราการแตกหักให้น้อยลง เป็นการเพิ่มอายุการใช้งานของชิ้นงาน อันจะเป็นแนวทางในการพัฒนากระบวนการผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้นไป

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีดำเนินการ

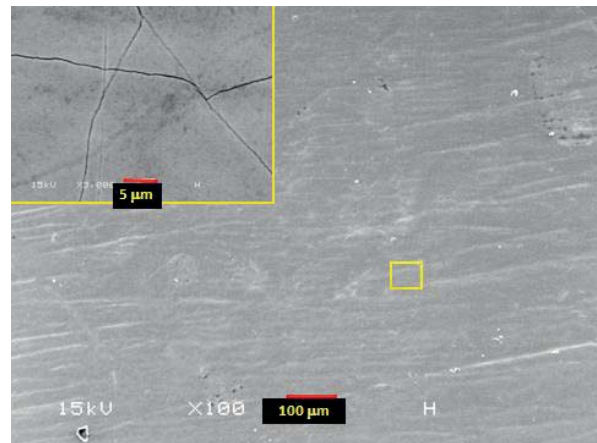
ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยทำการศึกษาการแตกหักของชิ้นงานที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มิลลิเมตร และเคลือบผิวด้วยการชุบฮาร์ดโครม มีความหนาของผิวเคลือบ 50 ไมครอน การทดสอบการสึกหรอด้วยเครื่องทดสอบการสึกหรอชนิดเคลื่อนที่ไปกลับ (Reciprocating wear testing machine) ที่สร้างขึ้นเพื่อทดสอบชิ้นงานในลักษณะนี้โดยเฉพาะ และเครื่องมือดังกล่าวได้รับการทดสอบจนสามารถยืนยันได้ว่ามีมาตรฐานสามารถที่จะนำมาใช้ในการทดสอบได้ [4] ทั้งนี้การทดสอบเป็นการประยุกต์การทดสอบการสึกหรอแบบตามเงื่อนไข และกระบวนการทดสอบของ ASTM G133-05 [5] โดยมีล้อลูกกลิ้งที่ผลิตจากซูเปอร์ลีน (nylon 6,6) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มม. และมีร่องโค้งรัศมี 6 มม. เท่ากับแท่งชิ้นงานที่ต้องการทดสอบ การสัมผัสของล้อและชิ้นงาน จะเป็นการสัมผัสแบบการ

สัมผัสกันของวัสดุทรงกระบอกที่มีรัศมีเท่ากัน (Contact between two crossed cylinders of equal radius) ซึ่งรูปแบบการสัมผัสดังกล่าว เมื่อทรงกระบอก 2 อัน ตั้งฉากกัน พื้นที่ของการสัมผัสกัน (Contours of contact surface) ที่จุดสัมผัสจะเป็นวงกลม ดังนั้นลักษณะของการสัมผัสจึงมีค่าคล้ายกับการสัมผัสกันของทรงกลม 2 อัน (Contact between two sphere) [6-7] การจัดเตรียมการทดสอบ และลักษณะของการทดสอบ แสดงในรูปที่ 1 โดยการทดสอบครั้งนี้ใช้น้ำหนักกด 8.7 นิวตัน ความเร็วการเคลื่อนที่ไปกลับ 250 รอบต่อนาที การทดลองครั้งนี้ใช้ชิ้นงานทดสอบจำนวน 4 ชิ้น และระยะเวลาทั้งหมดในการทดสอบชิ้นละ 640 นาที เมื่อทดสอบได้ 40 นาที จะนำชิ้นงานมาทำความสะอาดและชั่งน้ำหนักเพื่อบันทึกข้อมูลน้ำหนักที่หายไป และวิเคราะห์ลักษณะของผิวของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกวาด (Scanning Electron Microscope : SEM) ที่ระยะ 120, 480 และ 640 นาที

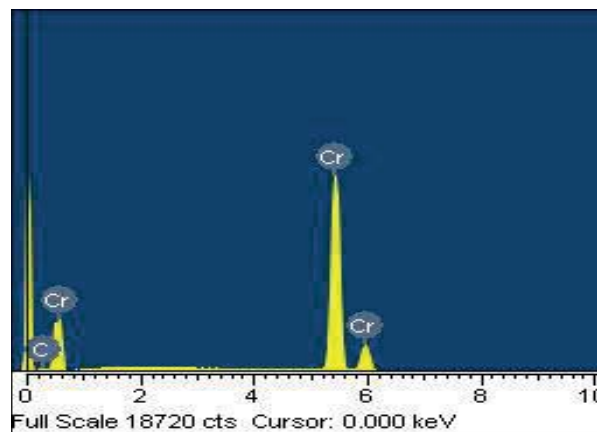


รูปที่ 1 เครื่องทดสอบและการจัดเตรียมการทดสอบ

ก่อนทำการทดสอบ มีการตรวจสอบลักษณะผิวของชิ้นงานด้วยเครื่อง SEM และวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผิวด้วยเครื่อง Energy Dispersive X-ray (EDS) ซึ่งจากการวิเคราะห์พบว่าผิวเคลือบมีรอยแตกขนาดเล็ก กระจายไปทั่วบริเวณ ทั้งนี้เกิดจากความเค้นคงค้างภายใน (Residual stress) ที่เกิดจากกระบวนการชุบฮาร์ดโครม และธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผิวจะประกอบด้วยธาตุโครเมียม (Cr) ทั้งหมด แสดงว่ากระบวนการชุบทำได้ดี ผิวชุบสามารถที่จะคลุมผิวเดิมที่เป็น สเตนเลสได้ทั้งหมด (รูปที่ 2)



ก



ข

รูปที่ 2 ก.ลักษณะของผิวก่อนการทดสอบ
ข.ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของผิว

3. ผลการวิจัย

เมื่อทำการทดสอบตามแผนการทดสอบที่กำหนดไว้ พบว่า ในช่วงแรกของการทดสอบ น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน มีค่าต่ำ และค่อยๆ เพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการทดสอบเพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่หายไปนั้นจะเป็นการเพิ่มแบบทวีคูณ ทั้งนี้ชิ้นงานทดสอบทั้ง 4 ชิ้นมีรูปแบบของการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่หายไป ในลักษณะเดียวกัน รายละเอียดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงานทดสอบ

เวลา (นาท)	น้ำหนักที่หายไปของชิ้นงาน (กรัม)				
	ชิ้นที่ 1	ชิ้นที่ 2	ชิ้นที่ 3	ชิ้นที่ 4	เฉลี่ย
40	0.0002	0.0004	0.0003	0.0003	0.0003
80	0.0003	0.0006	0.0005	0.0004	0.0005
120	0.0004	0.0007	0.0005	0.0005	0.0005
160	0.0008	0.0010	0.0007	0.0006	0.0008
200	0.0008	0.0012	0.001	0.0007	0.0009
240	0.0009	0.0013	0.0014	0.0010	0.0012
280	0.0011	0.0015	0.0017	0.0015	0.0015
320	0.0012	0.0017	0.0021	0.0019	0.0017
360	0.0014	0.0021	0.0023	0.0025	0.0021
400	0.0019	0.0026	0.0028	0.0031	0.0026
440	0.0021	0.0032	0.0035	0.0038	0.0032
480	0.0028	0.0039	0.0041	0.0045	0.0038
520	0.0035	0.0045	0.0045	0.0052	0.0044
560	0.0039	0.0050	0.0049	0.0060	0.0050
600	0.0045	0.0060	0.0053	0.0065	0.0056
640	0.0057	0.0062	0.0059	0.0067	0.0061

เมื่อวิเคราะห์ลักษณะของผิวชิ้นงาน พบว่า เมื่อเวลาผ่านไป 120 นาที ผิวของชิ้นงาน มีความเรียบดีกว่าเดิม รอยแตกมีปริมาณเท่าเดิม แต่ความลึกของรอยแตกเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิมอย่างเห็นได้ชัด

เมื่อเวลาผ่านไป 480 นาที ผิวของชิ้นงานมีความเรียบผิวลดลง รอยแตกเดิมมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น และมีรอยแตกเล็กๆ เกิดขึ้นมาใหม่ และเมื่อเวลาผ่านไป 640 นาที พบว่า รอยแตกมีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ความเรียบของผิวชิ้นงานลดลงอย่างชัดเจน แต่รอยแตกขนาดเล็กๆ จะหายไป ทั้งนี้เป็นเพราะว่า รอยแตกเล็กๆ ที่เกิดขึ้นใหม่นั้น เกิดที่บริเวณผิวของชิ้นงานเท่านั้น ไม่ลึกเหมือนกับรอยแตกที่เกิดจากความเค้นคงค้าง เมื่อผิวงานสึกออกไป รอยแตกจึงหายไปด้วย รายละเอียดของรอยแตกแสดงในรูปที่ 3

4. อภิปรายผล

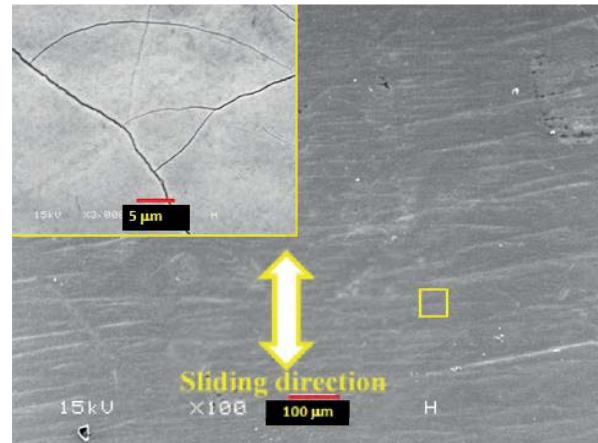
จากค่าน้ำหนักที่หายไป เมื่อนำมาเขียนเป็นกราฟ จะพบว่า อัตราการเพิ่มขึ้นของน้ำหนักที่หายไปเป็นแบบ Exponential (รูปที่ 4) แสดงให้เห็นว่า เมื่อเวลาใช้งานไปนานๆ น้ำหนักของชิ้นงานจะหายไปอย่างรวดเร็ว แม้ว่า ยังไม่เกิดการแตกหักที่บริเวณผิวของชิ้นงานก็ตาม และหากเกิดการแตกหักของผิวแล้ว น้ำหนักของชิ้นงานยิ่งจะหายไปเร็วยิ่งขึ้น

การหายไปของน้ำหนักของชิ้นงาน เกิดจากการสึกหรอที่บริเวณผิวของชิ้นงาน ซึ่งการสึกหรอดังกล่าวจะเป็นลักษณะการสึกหรอแบบขัดถู สังเกตได้จากผิวของชิ้นงานที่ในขั้นตอนแรกของการทดลอง จะมีความเรียบเพิ่มมากขึ้นกว่าก่อนการทดลอง เนื่องจากในขั้นตอนของการชุบผิว อาจมีการยึดเกาะของโครเมียมที่เกินกว่าบริเวณอื่นๆ ทำให้ความเรียบของผิวไม่ดีนัก เมื่อเกิดการเสียดสีกับลูกกลิ้งที่เป็น nylon 6,6 ทำให้ส่วนที่ไม่เรียบนั้นหลุดออกไป ผิวจึงมีความเรียบมากขึ้น แต่เมื่อทำการทดลองเพิ่มอีกจะพบว่า ความเรียบของผิวชิ้นงานจะลดลง เนื่องจากผิวส่วนหนึ่งยึดติดกับผิวของลูกกลิ้ง และหลุดออกไป ทำ

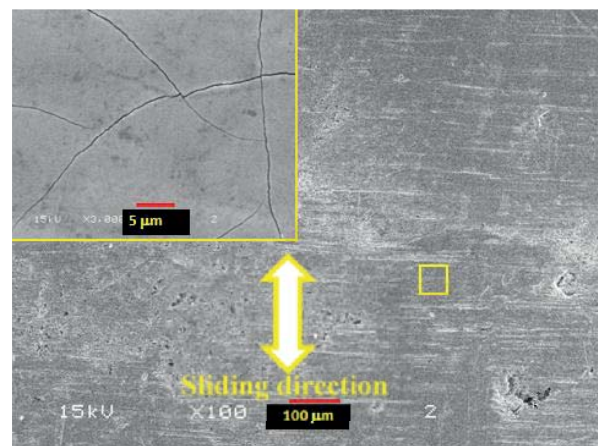
ให้ความเรียบผิวลดลง และเมื่อเกิดการสัมผัสกันมากขึ้น ผิวก็จะหลุดออกไปมาก

น้ำหนักของชิ้นงานที่หายไปเพิ่มขึ้นแบบ Exponential เป็นเพราะว่า เมื่อความเรียบของผิวชิ้นงานลดลง ส่วนที่เป็นยอดแหลมของผิว ก็จะมีโอกาสยึดติดกับลูกกลิ้งมากยิ่งขึ้น และแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมก็จะลดลง ทำให้การหลุดออกเกิดได้ง่ายขึ้น ทำให้น้ำหนักหายไปอย่างรวดเร็ว

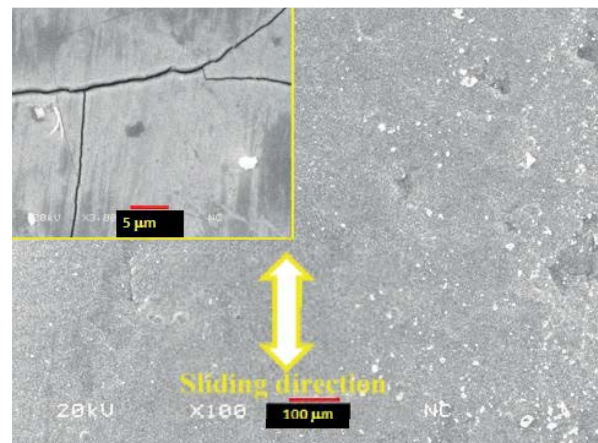
จากรูปที่ 3 และ 4 แสดงให้เห็นว่า การแตกหักของผิวชิ้นงานนั้นเกิดขึ้นในลักษณะของการสึกหรอในบริเวณผิวก่อน และทำให้รอยแยกที่เกิดขึ้นในผิวมีขนาดใหญ่ขึ้น จนถึงจุดหนึ่งผิวเคลือบก็จะแตกและหลุดออก ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งกลไกการแตกหักดังกล่าว สอดคล้องกับการแตกหักชิ้นงาน ตามลักษณะ Stress - Cycle (S-N) ทัวไป ซึ่งในลักษณะดังกล่าวนี้ แม้แรงที่มากกระทำกับชิ้นงานมีค่าไม่สูงแต่เมื่อชิ้นงานได้รับแรงกระทำซ้ำๆ เป็นจำนวนหลายๆ ครั้ง ก็จะทำให้เกิดการแตกหักได้ ซึ่งจากการทดลองในครั้งนี้ ในแต่ละจุดของชิ้นงานจะมีแรงกระทำอยู่ 320,000 ครั้ง ซึ่งจำนวนครั้งของการกดดังกล่าวอาจจะยังไม่สามารถทำให้เกิดการแตกหักที่บริเวณผิวได้ หากต้องการทราบว่าชิ้นงานจะเกิดการแตกหักขึ้นเมื่อใด ต้องมีการทดลองต่อไปอีก ทั้งนี้เพราะองค์ประกอบของการแตกหักของผิวชิ้นงานนี้ไม่ได้มีเฉพาะจำนวนครั้งของการกดเท่านั้น แต่ยังมีปัจจัยอื่นที่สำคัญ เช่น รอยแตกของผิว และการสึกหรอของผิวมาประกอบด้วย



ก

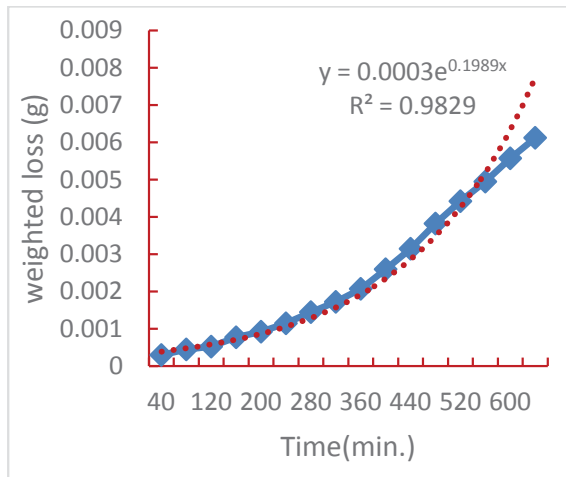


ข



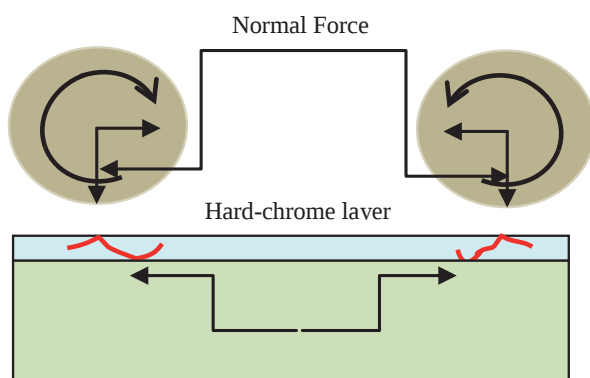
ค

รูปที่ 3 ลักษณะของผิวเมื่อเวลาผ่านไป
(ก) 120 นาที (ข) 480 นาที และ (ค) 640 นาที



รูปที่ 4 แสดงน้ำหนักที่หายไป และเส้นแนวโน้ม

ผิวของรอยชุบที่มีรอยแตกร้าว เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดการแตกหักของผิวและทำให้ผิวเคลือบหลุดออกมาได้ง่ายขึ้น แม้ว่ารอยแตกร้าวจะมีความลึกไม่มากก็ตาม ทั้งนี้เพราะรอยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการชุบนั้น เป็นจุดเริ่มต้นของการแตก (Crack initial) ได้เป็นอย่างดี และการชุบฮาร์ดโครมที่เป็นกระบวนการเคลือบผิวทางไฟฟ้า ที่ทำให้อะตอมของโครเมียมมาเกาะที่ผิวสแตนเลสนั้น การยึดเกาะของผิวนั้นจะไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ช่วงของรอยต่อระหว่างผิวก็จะมีส่วนทำให้เกิดการแตกและหลุดลอกของผิวได้ เช่นเดียวกันกับรอยแตก



รูปที่ 5 กลไกการแตกหักของผิวเคลือบ

5. สรุปผล

จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่า การสึกหรอแบบแตกหักที่เกิดกับผิวของชิ้นงานนั้น มีกลไกคล้ายกับการแตกหักของวัสดุทั่วไปคือเมื่อได้รับแรงที่ไม่สูงแต่จำนวนครั้งของการรับแรงสูง ก็จะทำให้เกิดการแตกหักได้ อย่างไรก็ตามในกรณีของการแตกหักทั่วไปนั้น หากแรงที่มากระทำกับชิ้นงานไม่มากพอ หรือความเค้นที่เกิดขึ้นต่ำกว่าขีดจำกัดความทนทาน (Endurance limit) วัสดุก็จะไม่แตกหักหรือการแตกหักก็จะไม่เกิดขึ้นตลอดอายุการใช้งาน แต่ในกรณีของผิวชิ้นงานนั้น แม้ว่าแรงที่มากระทำต่อผิวมีค่าต่ำกว่าขีดจำกัดความทนทาน แต่เมื่อเกิดการเสียดสี ผิวจะเกิดการสึกหรอไปด้วย และการสึกหรอของผิวก็จะเป็นสาเหตุทำให้ขีดจำกัดความทนทานของผิวลดลงและเป็นสาเหตุของการแตกหักในที่สุด ดังนั้นในการออกแบบชิ้นส่วนที่เกิดการเสียดสีกัน ในลักษณะสั่นไถลนี้ จำเป็นต้องคำนึงถึงความต้านทานการสึกหรอมากกว่าขีดจำกัดความทนทาน เพราะการสึกหรอจะทำให้ความทนทานต่อการแตกหักลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบริษัท ขอนแก่นแหวน จำกัด ที่อนุเคราะห์ชิ้นงานสำหรับการทดสอบ และขอขอบพระคุณศูนย์เครื่องมือกลางมหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ให้ความร่วมมือในการวิเคราะห์ผิวของชิ้นงานด้วยเครื่อง SEM และ EDS

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alfred Z. Wear patterns and laws of wear. Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2006;44(2), 219 - 253.
- [2] Lei H, Hiroyuki A, Masahiko K and Atsushi S. Fatigue life prediction method for AISI 316 stainless steel under variable-amplitude loading considering low-amplitude loading below the endurance limit in the ultrahigh cycle regime. International Journal of fatigue, 2017; 101, 18-26
- [3] Tang W, Zhou Y, Zhu H and Yang H. The effect of surface texture on reducing the friction and wear of steel under lubricated sliding contact. Applied Surface Science. 2013; 273, 199-204
- [4] Srisattayakul P, Saikaew C and Wisitsoraat A, Reciprocating two-body abrasive wear behavior of DC magnetron sputtered Mo-based coatings on hard-chrome plated AISI 316 stainless steel. Wear, 2017; 379, 96-105
- [5] ASTM Standard G133-05 (Reapproved 2010), "Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear"ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010
- [6] Williams JA and Dwyer-Joyce RS Contact between solid surface. [Online] home.ufam.edu.br/berti/nanomaterials/8403_PDF_CH03.pdf, 2001
- [7] Wikipedia. Contact Mechanics. [online] en.wikipedia.org/wiki/Contact_mechanics, 2018