



การวิเคราะห์การสึกหรอของตัวจับหัวอ่าน/เขียนในกระบวนการประกอบ ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ Finite Element Analysis of Wear of Slider Gripper in the Hard Disk Drive Assembly Process

ทวีศักดิ์ แสงกล้า^{1*} กรุณา ตูจินดา² และ ศศิธร พิทักษ์ฐาปนพงษ์³

บทคัดย่อ

การสึกหรอของอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องในกระบวนการผลิตฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ นอกจากจะก่อให้เกิดการปนเปื้อน อันเกิดจากเศษวัสดุที่หลุดออกมา ซึ่งทำความเสียหายโดยตรงให้แก่ชิ้นส่วนฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์แล้ว ยังมีผลต่อความเที่ยงตรงของขั้นตอนการประกอบชิ้นส่วนด้วยอุปกรณ์หนึ่งในกระบวนการผลิตที่พบความเสียหาย อันเนื่องมาจากการสึกหรอคือ ตัวจับหัวอ่าน/เขียน (Gripper A-B) ซึ่งทำหน้าที่บังคับหัวอ่าน/เขียน (Slider) ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องก่อนจะถูกส่งไปประกอบเข้ากับชุดหัวอ่าน/เขียน โดยในขั้นตอนการประกอบปัจจุบันพบว่าเมื่อตัวจับหัวอ่าน/เขียน เกิดความเสียหาย จะส่งผลให้ตำแหน่งของหัวอ่าน/เขียนเบี่ยงเบนไป จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนตัวจับหัวอ่าน/เขียน ซึ่งทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายและเวลาในกระบวนการประกอบ งานวิจัยนี้จึงต้องการนำระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์มาวิเคราะห์สาเหตุและลักษณะการเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวจับหัวอ่าน/เขียน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการประกอบและยืดอายุการใช้งานของตัวจับหัวอ่าน/เขียน โดยในการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์ จะอ้างอิงข้อมูลจาก

ขั้นตอนการประกอบจริงในโรงงาน เป็นต้นว่าตำแหน่งและมุมตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียนก่อนการสัมผัสตัวจับ ระยะเวลาและความเร็วในการเคลื่อนที่ของตัวจับหัวอ่าน/เขียน จากผลการศึกษาพบว่า การสึกหรอเกิดขึ้นกับทุกตำแหน่งบนตัวจับหัวอ่าน/เขียน แต่ตำแหน่งที่มีการสึกหรอรุนแรงจะสอดคล้องกับตำแหน่งที่มีความเค้นสูงจากการจำลองด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัสต่างๆ ของตัวจับหัวอ่าน/เขียนจะขึ้นอยู่กับมุมเบี่ยงเบนและระยะเบี่ยงเบนของตำแหน่งตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียน โดยมุมเบี่ยงเบนในทิศทาง +ve จะก่อให้เกิดความเค้นสูง เมื่อเทียบกับมุมเบี่ยงเบนในทิศทาง -ve

คำสำคัญ: หัวอ่าน/เขียน ฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ชุดหัวอ่าน/เขียน การเสียหาย การสึกหรอ

Abstract

Wear of a tool used in hard disk drive (HDD) production line can lead to contamination as well as affecting the precision of the assembled parts. One

¹ นักศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

² อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

³ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 0-2470-9216 E-mail: taweesak5@hotmail.com

such example is the wear of grippers used to align the slider to the correct position before being forwarded to the Head Gimbal Assembly (HGA) process. As a result of wear, precise position of the slider cannot be achieved and the grippers need to be replaced. This increases the production cost and decreases productivity due to the tool change interruption. This research aims to study the wear behavior of grippers using finite element simulation. It was found that the wear observed on the gripper surface corresponds to the location of high stresses. The +ve angle deviation of the slider initial position can lead to substantially higher stresses compared to the -ve angle deviation.

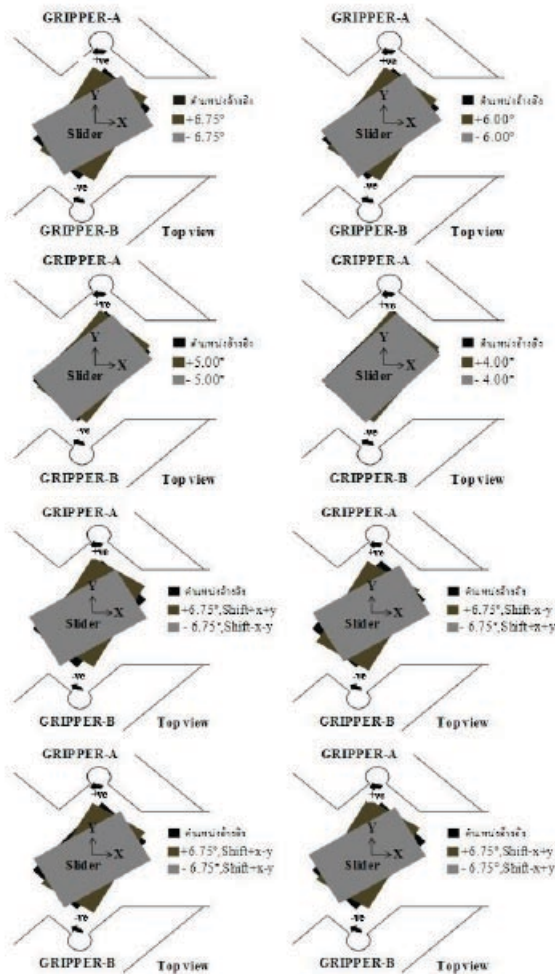
Keywords: Slider, Hard Disk Drive, Head Gimbal Assembly, Failure, Wear

1. บทนำ

หัวอ่าน/เขียน (Slider) เป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลหรือฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งในปัจจุบันขั้นตอนการประกอบหัวอ่าน/เขียน จะเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง โดยใช้เครื่องจักรอัตโนมัติเพื่อความแม่นยำในการประกอบ ในกระบวนการประกอบหัวอ่าน/เขียน จะต้องใช้ตัวจับหัวอ่าน/เขียน (Gripper A-B) เพื่อจัดตำแหน่งของหัวอ่าน/เขียน ให้อยู่ในตำแหน่งที่ถูกต้องก่อนจะถูกส่งไปประกอบเข้ากับชุดหัวอ่าน/เขียน (Head Gimbal Assembly; HGA) ปัญหาในปัจจุบันของโรงงานพบว่าตัวจับหัวอ่าน/เขียนเกิดความเสียหายอันเนื่องมาจากการสึกหรอ ทำให้ไม่สามารถควบคุมตำแหน่งของหัวอ่าน/เขียนได้แม่นยำเพียงพอ จำเป็นต้องมีการหยุดการผลิตเพื่อเปลี่ยนตัวจับ ส่งผลต่อ Productivity ที่ลดลงและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวจับหัวอ่าน/เขียนเป็นชิ้นส่วน High Precision ที่มีราคาสูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องศึกษาสาเหตุและลักษณะความเสียหายของตัวจับหัวอ่าน/เขียน เพื่อเป็นแนวทางในการ

พัฒนาและปรับปรุงขั้นตอนการประกอบของตัวจับหัวอ่าน/เขียน จากการสืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์พบว่า งานวิจัยได้เน้นศึกษาการปรับปรุงคุณภาพของแผ่นดิสก์ และการยืดอายุการใช้งานของแผ่นดิสก์ [1] ทั้งนี้เนื่องจากความต้องการการจัดเก็บข้อมูลจำนวนมากขึ้น ในเนื้อที่ที่จำกัด จาก 2 kbit/inch² ในปี ค.ศ.1956 เป็น 100 Gbit/inch² ในปี 2003 และ 0.25 Tbit/inch² ในปี ค.ศ. 2010 [2] ในส่วนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวอ่าน/เขียน จะเป็นการยืดอายุการใช้งานของหัวอ่าน/เขียน เช่น การศึกษาการสึกหรอของหัวอ่าน/เขียน [3], [4] และการยืดอายุการใช้งานของหัวอ่าน/เขียน โดยการเคลือบด้วยฟิล์มแข็ง [5]-[7] และในช่วงเวลาดังกล่าวระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ซึ่งในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ก็พบการนำระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยวิเคราะห์ปัญหา เช่น การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน และการวิเคราะห์การเสียรูปของชุด HGA [8]-[11] และการถ่ายเทความร้อนในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ [12] อย่างไรก็ตามพบว่ามีการตีพิมพ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนการประกอบหัวอ่าน/เขียน ซึ่งสอดคล้องกับข้อมูลของทางบริษัท ที่พบว่ายังขาดความรู้ที่จำเป็นในการปรับปรุงกระบวนการประกอบหัวอ่าน/เขียนเช่นกัน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นจะต้องศึกษาลักษณะการเสียหายของตัวจับเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการประกอบให้ดีขึ้น

จากข้อมูลของบริษัทพบว่าตัวแปรที่มีผลต่อความเสียหายของตัวจับหัวอ่าน/เขียนคือมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนตั้งต้นก่อนการจับ ซึ่งในขั้นตอนการประกอบปัจจุบัน พบว่ามุมเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียน ที่โรงงานสามารถควบคุมได้จะอยู่ในช่วงไม่เกิน $\pm 6.75^\circ$ และตำแหน่งเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียน ตามแนวแกน $\pm X$, $\pm Y$ สามารถควบคุมได้เท่ากับ ± 0.0185 มม. ดังแสดงในรูปที่ 1 ในงานวิจัยนี้ จึงจะศึกษาพฤติกรรมของตัวจับภายใต้เงื่อนไขเหล่านี้



รูปที่ 1 มุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียนที่โรงงานสามารถควบคุมได้

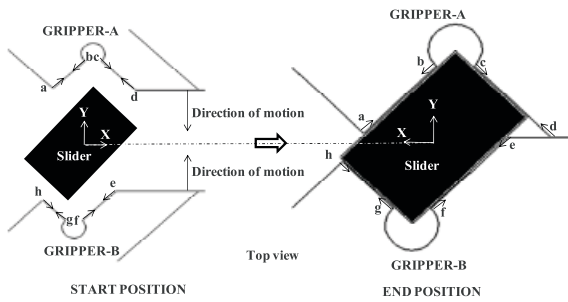
การเสียหายทางกลของวัสดุเกิดจากการได้รับแรงกระทำจากภายนอก ทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนรูปหรือเสียรูปร่างไปจากเดิม ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายรูปแบบขึ้นอยู่กับกลไกการเกิด [13],[14] โดยมีประเภทหลักๆ คือ 1) การเปลี่ยนรูปแบบถาวร (Plastic Deformation) เกิดขึ้นเมื่อความเค้นเกินจุดคราก (Yield Strength) ของวัสดุ 2) ความล้า (Fatigue) คือ การเสียหายเนื่องจากวัสดุได้รับแรงกระทำซ้ำๆ เป็นรอบๆ ซึ่งความเค้นที่เกิดขึ้นอาจมีค่าน้อยกว่าความเค้นครากของ

วัสดุและ 3) การสึกหรอ (Wear) [15],[16] คือความเสียหายบน Asperities ของวัสดุที่ละเอียดและค่อยๆ สึกหรอเนื่องมาจากการเคลื่อนที่สัมผัสกันของวัสดุ ซึ่งกลไกการสึกหรอสามารถแบ่งออกได้หลายประเภทคือ การสึกหรอจากการไถลระหว่างผิว (Sliding Wear) การสึกหรอจากการขัดถูของอนุภาคกับผิว (Abrasive Wear) การเกาะติดของผิวหน้าสัมผัส (Adhesive Wear) การสึกหรอแบบการล้าตัว (Fatigue Wear) และการชนของอนุภาคเล็ก เป็นต้น

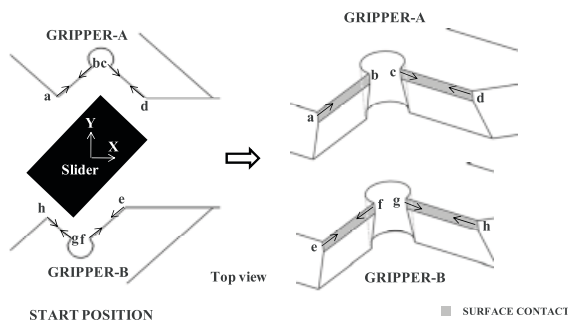
ในงานวิจัยนี้ จะนำระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ความเค้นที่เกิดขึ้นกับตัวจับหัวอ่าน/เขียน ในแต่ละตำแหน่งสัมผัส ที่มีผลมาจากอิทธิพลของมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียน โดยจะเปรียบเทียบในเชิงคุณภาพกับสภาพการสึกหรอจริงของตัวจับหัวอ่าน/เขียน เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงขั้นตอนการประกอบหัวอ่าน/เขียนและยืดอายุการใช้งานของตัวจับหัวอ่าน/เขียนต่อไป

2. ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การจำลองสภาวะการทำงานของกระบวนการประกอบหัวอ่าน/เขียนด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบด้วย 3 ชั้นส่วนคือ ตัวจับ A และ B และหัวอ่าน/เขียน ทั้ง 3 ชั้นส่วนจำลองด้วยเอลิเมนต์แบบ 10 Node Tetrahedral ตัวจับทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless-steel) และหัวอ่าน/เขียนทำจากวัสดุ Alumina-titanium Carbide (Al₂O₃-TiC) โดยมีสมบัติดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งจากข้อมูลการทำงานจริงในขั้นตอนการประกอบพบว่าตัวจับทั้งสองเคลื่อนที่พร้อมกันเป็นระยะทาง 2 มม. ด้วยความเร็วคงที่ ในระยะเวลา 0.25 วินาที เพื่อเข้าจับหัวอ่าน/เขียน ดังแสดงในรูปที่ 2 การวิเคราะห์เป็นแบบ Transient ตัวแปรที่ต้องการศึกษาคือตำแหน่งและมุมเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียนดังที่กล่าวไว้ในส่วนที่ 1 โดยจะศึกษาความเค้นที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของตัวจับ A และ B ณ ตำแหน่งต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2 ตำแหน่งตั้งต้นและตำแหน่งสุดท้ายของหัวอ่าน/เขียนและตัวจับ



รูปที่ 3 แสดงตำแหน่งสัมผัสของตัวจับ A และ B และสัญลักษณ์ (a-h)

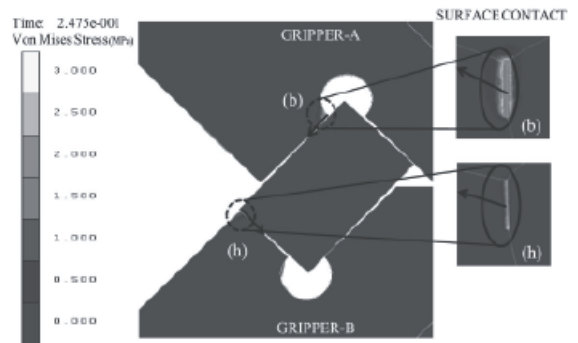
ตารางที่ 1 สมบัติวัสดุของตัวจับและหัวอ่าน/เขียน

Mechanical Properties	Type of Materials	
	Stainless-steel (ตัวจับ)	Al2O3-TiC (หัวอ่าน/เขียน)
Density (kg/mm ³)	7.80	4.94
Ultimate Tensile Strength (MPa)	1,750	10,000
Yield Strength, (MPa)	1,280	10,000
Modulus of Elasticity (GPa)	200	451
Poisson's Ratio (v)	0.3	0.18

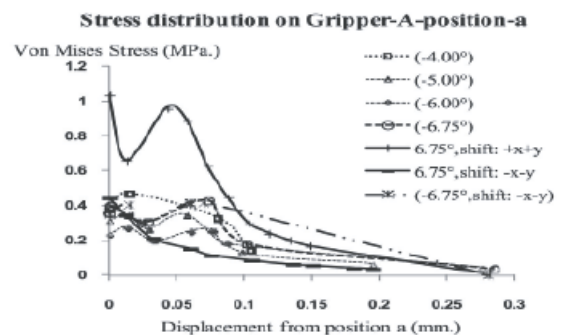
3. ผลการวิจัย

3.1 พฤติกรรมของตัวจับจากการจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

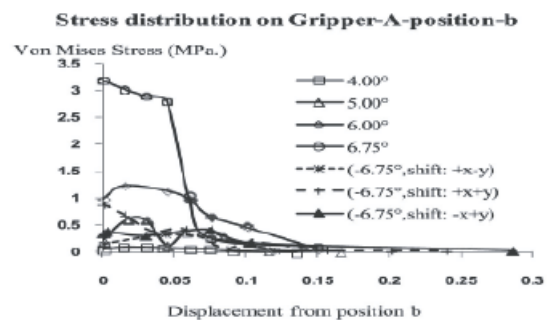
จากการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า มุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนตั้งต้นมีผลต่อค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับตัวจับในขณะสัมผัสกับหัวอ่าน/เขียน



รูปที่ 4 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตัวจับ A และ B ที่มุมเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียน +6.75°



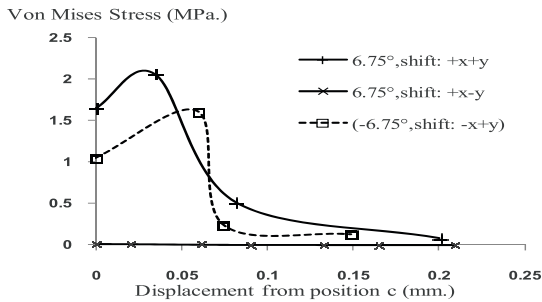
รูปที่ 5 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส a



รูปที่ 6 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส b

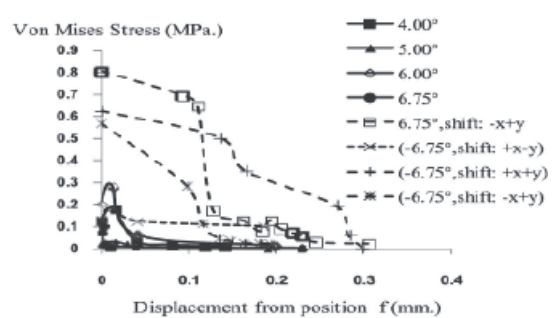
เขียน รูปที่ 4 แสดงความเค้นบนตัวจับขณะสัมผัสหัวอ่าน/เขียน ในลักษณะ Contour Plot กรณีมุมเบี่ยงเบนหัวอ่าน/เขียนตั้งต้นที่ +6.75° รูปที่ 5-12 แสดงค่าการกระจายตัวของความเค้นบนแนวสัมผัสจากตำแหน่งสัมผัส a-h กรณีมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนตั้งต้นที่ศึกษา

Stress distribution on Gripper-A-position-c



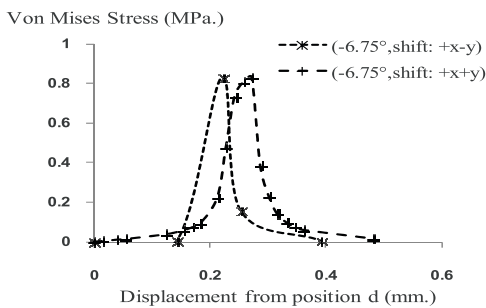
รูปที่ 7 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส c

Stress distribution on Gripper-B-position-f



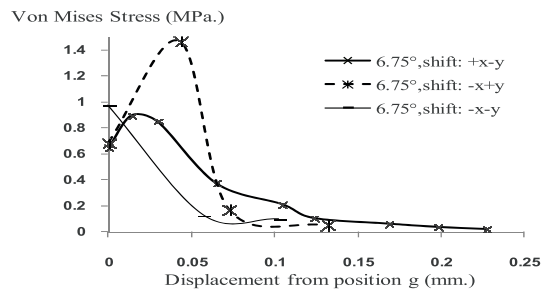
รูปที่ 10 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส f

Stress distribution on Gripper-A-position-d



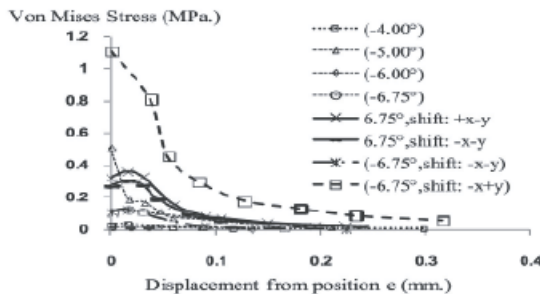
รูปที่ 8 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส d

Stress distribution on Gripper-B-position-g



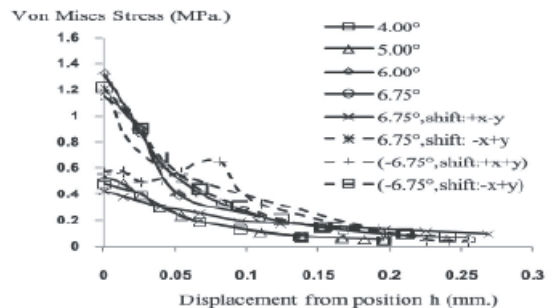
รูปที่ 11 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส g

Stress distribution on Gripper-B-position-e



รูปที่ 9 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส e

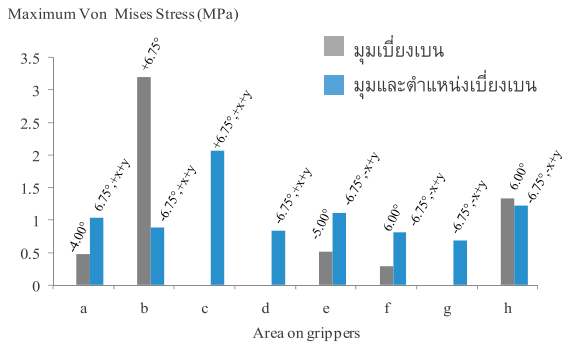
Stress distribution on Gripper-B-position-h



รูปที่ 12 ความเค้นที่เกิดขึ้นบนตำแหน่งสัมผัส h

จากผลการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า ตัวจับจะเกิดความเค้นในทุกตำแหน่งที่มีการสัมผัสกับหัวอ่าน/เขียน โดยขนาดของความเค้นจะขึ้นอยู่กับมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียน หากไม่มีตำแหน่งเบี่ยงเบน ความเค้น

สูงสุดที่เกิดขึ้นจะเรียงตามตำแหน่ง b, h, a, e และ f ตามลำดับ หากมีการเบี่ยงเบนตำแหน่งร่วมด้วย ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเรียงตามตำแหน่ง c, h, e, a, b, d, f และ g ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 13 ดังนั้นทุกตำแหน่งสัมผัสมีโอกาสเกิดความเสียหายด้วยกัน

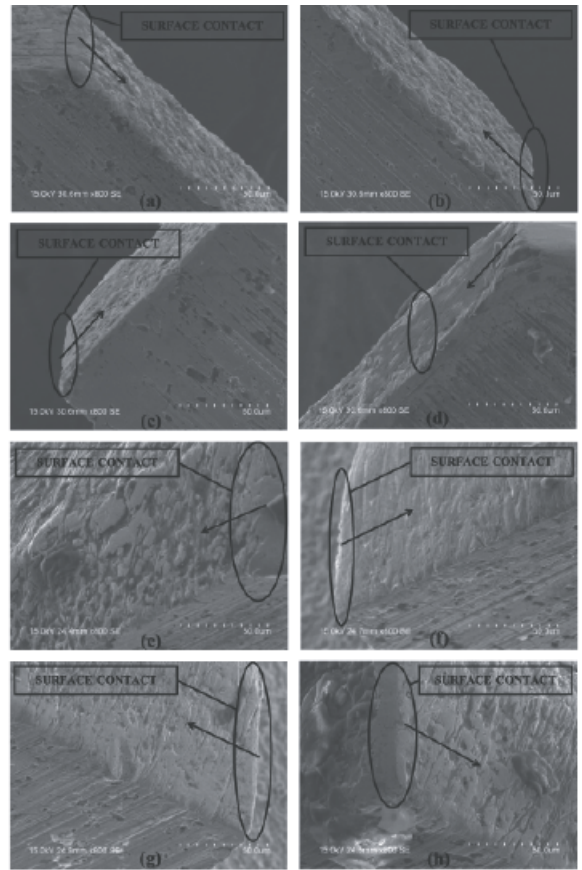


รูปที่ 13 ความเค้นสูงสุดที่ตำแหน่งสัมผัส a-h

ทั้งหมด หากระดับความเสียหายเป็นผลจากขนาดของความเค้น การเสียหายจะเกิดขึ้นมากที่สุดจากมูมเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียนที่ $+6.75^\circ$ ที่ตำแหน่งสัมผัส b

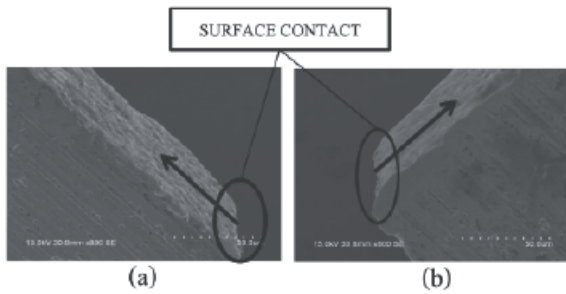
เพื่อเป็นการยืนยันความสอดคล้องของการเสียหายที่เกิดขึ้นจริงกับตัวจับ ผู้วิจัยจึงได้สุมตัวอย่างตัวจับทั้งหมดอายุการใช้งาน จาก 2 ช่วงเวลาที่แตกต่างกันจำนวนทั้งหมด 4 ตัวอย่าง มาวิเคราะห์ความเสียหายด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM) พบความเสียหายที่เกิดขึ้นบนตัวจับ A และ B ดังแสดงในรูปที่ 14

จากการวิเคราะห์การเสียหายที่ได้จากการสุมตัวอย่างครั้งที่ 1 พบว่าตำแหน่งที่มีการสัมผัสตั้งแต่ a-h เกิดการเสียหายที่แตกต่างกันไป ซึ่งลักษณะการเสียหายจะเกิดจากการสึกหรอแบบขัดถูระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับตัวจับ ซึ่งสามารถวิเคราะห์กลไกการสึกหรอของตัวจับได้ดังนี้ จากรูปที่ 14 ประเภทการสึกหรอเป็นกลไกการสึกหรอแบบ Abrasive-two-body (ระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับตัวจับ) ซึ่งอธิบายถึงกลไกการแตกของโลหะแบบเหนียว [17] หรือเป็นการสูญเสียเนื้อโดยการเปลี่ยนรูปเนื่องจากการขัดถู [18], [19] ตำแหน่งสัมผัส b และ c เป็นบริเวณที่เห็นการสึกหรออย่างชัดเจน โดยบริเวณดังกล่าวสูญเสียพื้นผิวที่ Asperities ไปทีละน้อยๆ เนื่องจากหัวอ่าน/เขียนเคลื่อนที่สัมผัสตัวจับภายใต้แรงกระทำภายนอก ตำแหน่งสัมผัส a เป็นตำแหน่งตรงปลายสุดของตัวจับ-A จากลักษณะการสึกหรอที่



รูปที่ 14 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวจับ ณ ตำแหน่งสัมผัสต่างๆ (a-h) จากการสุมตัวอย่างครั้งที่ 1

เกิดขึ้นจะรุนแรงน้อยกว่าตำแหน่งสัมผัส b และ c โดยสังเกตได้จากบริเวณรอบข้างตลอดความยาวพื้นที่สัมผัส ซึ่งให้ผลที่สอดคล้องกับตำแหน่งสัมผัส h แต่ที่ตำแหน่งสัมผัส e, h และ g บริเวณรอบข้างพื้นผิวจะค่อนข้างเรียบเนื่องจาก Asperities ถูกขัดถูออกไป ตำแหน่งสัมผัส d เป็นตำแหน่งเดียวที่มีร่องรอยการสึกหรอแบบ Abrasive Wear ที่เกิดเนื่องจากกลไกแบบ Cutting [17] ตำแหน่งสัมผัส f และ g การสึกหรอเป็นไปอย่างช้าๆ สังเกตได้จากพื้นผิวรอบข้างจะค่อนข้างเรียบเนื่องจาก Asperities ถูกขัดถูออกไป จากการวิเคราะห์การเสียหายในรูปแบบกลไกการสึกหรอ พบว่าบริเวณที่มีอิทธิพลต่อการเสียหายของตัวจับมากที่สุด



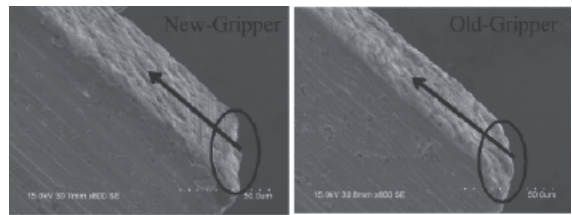
รูปที่ 15 ความเสียหายที่เกิดขึ้นกับตัวจับ (a) ที่ตำแหน่งสัมผัส b, (b) ที่ตำแหน่งสัมผัส c จากการสุมตัวอย่างครั้งที่ 2

คือตำแหน่งสัมผัส b และ c กล่าวคือบริเวณดังกล่าวเกิดการสึกหรอเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนรอบการทำงานจนในที่สุดตัวจับจะไม่สามารถบังคับหัวอ่าน/เขียนให้อยู่ในตำแหน่งอ้างอิงที่ต้องการได้

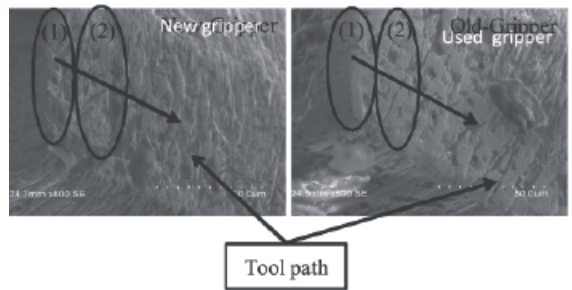
จากการวิเคราะห์การเสียหายที่ได้จากการสุมตัวอย่างจากขั้นตอนการประกอบครั้งที่ 2 พบว่ารูปแบบการเสียหายยังคงเป็นรูปแบบเดิมคือที่ตำแหน่งสัมผัส b และ c พบการเสียหายที่รุนแรง ดังแสดงในรูปที่ 15 (ในที่นี้ผู้วิจัยขอแสดงผลเฉพาะตำแหน่งการเสียหายสูงสุดซึ่งตำแหน่งอื่นๆ ได้พบการเสียหายรูปแบบเดิมดังแสดงในรูปที่ 14)

3.2 การวิเคราะห์การสึกหรอของตัวจับร่วมกับแบบจำลองด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การศึกษาโดยการจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ เป็นการวิเคราะห์โดยการกำหนดมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนตั้งต้น เพื่อวิเคราะห์หาค่าความเค้น ซึ่งในขั้นตอนการประกอบจริง เราไม่สามารถทราบได้ว่าแต่ละรอบการทำงาน หัวอ่าน/เขียนจะถูกวางในตำแหน่งเริ่มต้นใด ดังนั้นมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนตั้งต้นจึงเป็นแบบสุ่ม (Random) จากค่าที่เป็นไปได้ (ไม่เกิน $\pm 6.75^\circ$ และ ± 0.0185 มม. ตามลำดับซึ่งเป็นค่าที่โรงงานสามารถควบคุมได้) ในงานวิจัยนี้ จึงยังไม่สามารถสรุปค่าการสึกหรออันเกิดจากความเค้นในเชิงปริมาณได้ แต่



รูปที่ 16 การสึกหรอของตัวจับ A ที่ตำแหน่งสัมผัส b เปรียบเทียบกับตัวจับที่ไม่ผ่านการใช้งาน



รูปที่ 17 การสึกหรอของตัวจับ B ที่ตำแหน่งสัมผัส h เปรียบเทียบกับตัวจับที่ไม่ผ่านการใช้งาน

สามารถบอกได้ในเชิงคุณภาพว่า หากลักษณะการวางหัวอ่าน/เขียนในขั้นตอนการประกอบ เป็นแบบสุ่มแล้ว บริเวณที่เกิดความเค้นสูงกว่าบริเวณอื่นๆ เมื่อเกิดขึ้นซ้ำๆ กันก็จะเป็นตัวเร่งให้การสึกหรอ ณ ตำแหน่งนั้นๆ สูงมากกว่าตำแหน่งอื่นไปด้วย

จากรูปที่ 16 พบว่าการสึกหรอของตัวจับ A ที่ตำแหน่งสัมผัส b จะเกิดขึ้นตรงบริเวณขอบของตัวจับเมื่อเปรียบเทียบกับตัวจับที่ยังไม่ผ่านการใช้งาน (New Gripper) ซึ่งเป็นผลจากการขัดถูระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับตัวจับ ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยแบบจำลองพบว่ามุมเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนที่มากขึ้นมีผลให้ความเค้นเพิ่มมากขึ้นด้วย (ดังรูปที่ 6) ดังนั้น หากขั้นตอนการประกอบหัวอ่าน/เขียนมีมุมเบี่ยงเบนตั้งต้นสูงๆ ซ้ำๆ กัน การสึกหรอก็จะเกิดขึ้นได้เร็วกว่าบริเวณอื่นๆ เมื่อพิจารณาที่ตำแหน่งอื่น เช่นที่ตัวจับ B ตำแหน่งสัมผัส h (ดังรูปที่ 17) พบว่าเกิดการสึกหรอที่ตำแหน่ง (1) และ (2) โดยพบว่าบริเวณ Asperities ค่อยๆ หลุดออกไป กล่าวคือมีการสูญเสียของพื้นผิวที่ละเอียด โดยสังเกตได้

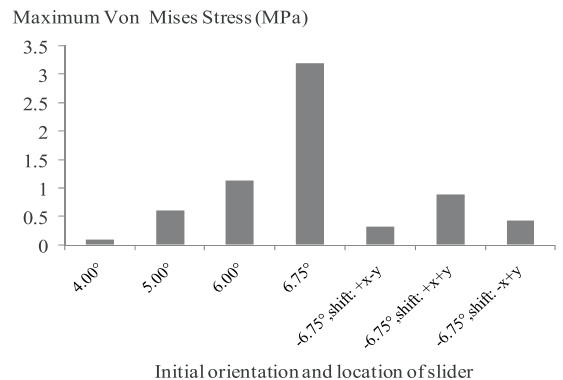
จากพื้นผิวจะเป็นวงขยายใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับตัวจับที่ไม่ผ่านการใช้งาน ซึ่งตรงตามรูปแบบการสึกหรอที่รายงานไว้ใน Williams [16] ที่พบว่าบริเวณ Asperities ของพื้นผิวจะเป็นส่วนที่ได้รับความเค้นสูงสุด ทำให้เกิดการสูญเสียเนื้อบริเวณ Asperities ไปทีละน้อย โดยกลไกการสูญเสีย Asperities จะเป็นกลไกแบบ Plowing [19] ซึ่งเป็นกลไกหนึ่งของการสึกหรอแบบ Abrasive นอกจากนี้ ที่ตำแหน่ง (2) ซึ่งพบการสึกหรอน้อย ทำให้ยังมีร่องรอยของพื้นผิวจริงอยู่ (Tool Path) ซึ่งต่างจากตำแหน่งสัมผัส b ของตัวจับ A ที่ไม่มีร่องรอยดังกล่าวเลย

แม้ว่าการใช้แบบจำลองร่วมกับการวิเคราะห์การสึกหรอจริงจะไม่สามารถคำนวณหาปริมาณการสึกหรอได้ เนื่องจากปริมาณการสึกหรอจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียน แต่ผลการศึกษา สามารถนำไปสู่การวิเคราะห์ปรับปรุงขั้นตอนการประกอบได้ เพราะแบบจำลองสามารถอธิบายให้เห็นได้ว่ามุมเบี่ยงเบนและ/หรือตำแหน่งเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนที่แตกต่างกัน จะส่งผลต่อความเค้นที่เกิดขึ้นกับตัวจับแตกต่างกันไป ซึ่งส่งผลถึงโอกาสในการเกิดการสึกหรอ ณ ตำแหน่งนั้นๆ ดังนั้นข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองสามารถนำไปใช้ปรับปรุงการควบคุมตำแหน่งตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียน เพื่อลดการสึกหรอได้

3.3 แนวทางการปรับปรุงขั้นตอนการประกอบและยืดอายุการใช้งานของตัวจับ

3.3.1 แนวทางการยืดอายุการใช้งาน

จากการวิเคราะห์การสึกหรอโดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าที่ตำแหน่งสัมผัส b จะเกิดความเค้นสูงสุด และจากการสึกหรอของตัวจับจริงก็พบการสึกหรอที่ตำแหน่งดังกล่าวรุนแรงมากที่สุดเช่นกัน ดังนั้นการปรับปรุงขั้นตอนการประกอบสามารถทำได้โดยการควบคุมมุมเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนเริ่มต้นให้มีค่าน้อยกว่า $+6.75^\circ$ จะทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นกับตัวจับในตำแหน่งสัมผัส b ลดลงได้ ส่วนการควบคุมมุมและตำแหน่งเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนเริ่มต้นที่ -6.75° Shift:+x-y ก็จะทำให้ความเค้นลดลงเช่นกัน ดังแสดงได้



รูปที่ 18 ความเค้นสูงสุดที่ตำแหน่งสัมผัส b จากมุมเบี่ยงเบนและตำแหน่งเบี่ยงเบนต่างๆ

ดังรูปที่ 18 ซึ่งถ้าความเค้นมีค่าสูงโอกาสการสึกหรอก็จะสูงขึ้นเช่นกัน ดังนั้นการลดความเค้นจะมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มอายุการใช้งานของตัวจับในตำแหน่งดังกล่าวได้

3.3.2 แนวทางการปรับปรุงขั้นตอนการประกอบ

จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่ารูปแบบการสัมผัสระหว่างหัวอ่าน/เขียนและตัวจับจะเป็นไปดังแสดงในตารางที่ 2 โดยสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่ม เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ขั้นตอนการประกอบ ปัจจุบันว่าแนวโน้มของหัวอ่าน/เขียนอยู่ในตำแหน่งตั้งต้นใด ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดของการจัดกลุ่มได้ ดังนี้ กลุ่มที่ 1 มีมุมเบี่ยงเบนในทิศทาง +ve จะทำให้เกิดการสัมผัสที่ตำแหน่งสัมผัส b, f และ h กลุ่มที่ 2 มีมุมเบี่ยงเบนในทิศทาง -ve จะทำให้เกิดการสัมผัสที่ตำแหน่งสัมผัส a และ c และกลุ่มที่ 3 มีตำแหน่งเบี่ยงเบน ± 0.0185 มม. จะทำให้เกิดการสัมผัสทุกตำแหน่งสัมผัส ดังนั้นจากการสึกหรอที่เกิดขึ้นกับตัวจับที่ได้จากการสุ่มทั้ง 2 ครั้ง พบการสึกหรอที่ตำแหน่งสัมผัส b และ c มากที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากอิทธิพลของกลุ่มที่ 1 และ 3 ที่ค่าเบี่ยงเบนของหัวอ่าน/เขียนมีเปอร์เซ็นต์การเกิดซ้ำมากกว่ากลุ่มที่ 2 แต่ไม่สามารถระบุได้ว่ามีค่าเป็นเท่าไร แต่สามารถแนะนำได้ว่าถ้าควบคุมหรือหลีกเลี่ยงมุมที่ทำให้เกิดความเค้นสูง หรือหาแนวทางในการควบคุมจำนวนการเกิดซ้ำให้น้อยที่สุด ก็จะเป็นการปรับปรุงขั้นตอนการประกอบให้ดีขึ้นได้

ตารางที่ 2 แสดงบริเวณสัมผัสของหัวอ่าน/เขียนกับตัวจับ

Initial position of the Slider	contact area on grippers / touching							
	a	b	c	d	e	f	g	h
+6.75°		/				/		/
+6.00°		/				/		/
+5.00°		/	Group 1			/		/
+4.00°		/				/		/
-4.00°	/				/			
-5.00°	/				/	Group 2		
-6.00°	/				/			
-6.75°	/				/			
+6.75°, +x, +y	/		/					
+6.75°, +x, -y			/		/		/	/
+6.75°, -x, +y			Group 3			/	/	/
+6.75°, -x, -y	/			/		/	/	
-6.75°, +x, +y		/		/		/	/	
-6.75°, +x, -y		/		/		/	/	
-6.75°, -x, +y		/	/		/	/	/	
-6.75°, -x, -y	/			/				

4. อภิปรายผลและสรุป

4.1 จากการวิจัยพบว่าบริเวณที่มีอิทธิพลต่อการเสียหายของตัวจับมากที่สุดคือตำแหน่งสัมผัส b และ c ซึ่งเมื่อบริเวณดังกล่าวเกิดการสึกหรอเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนรอบการทำงาน จะส่งผลให้ตัวจับไม่สามารถบังคับหัวอ่าน/เขียนให้อยู่ในตำแหน่งอ้างอิงได้ จำเป็นต้องเปลี่ยน ดังนั้นตำแหน่งสัมผัส b, c จึงเป็นเงื่อนไข (Criteria) ที่จะต้องควบคุมให้เกิดการสึกหรอน้อยที่สุดเพื่อจะได้ยืดอายุการใช้งานของตัวจับ

4.2 จากการวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าตำแหน่งสัมผัส b และ c จะเกิดความเค้นสูงสุด โดยเกิดขึ้นเมื่อมุมเบี่ยงเบนตั้งต้นของหัวอ่าน/เขียนเท่ากับ +6.75° และ +6.75° Shift: +x+y ตามลำดับ

4.3 เมื่อพิจารณาการสึกหรอที่เกิดขึ้นจริงกับตัวจับร่วมกับผลการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ พบความสอดคล้องกันคือ การสึกหรอที่ตำแหน่งสัมผัส b เป็นผลมาจากการได้รับความเค้นสูง ดังนั้นการยืดอายุ

การใช้งานของตัวจับสามารถทำได้โดยการปรับปรุงตำแหน่งการวางหัวอ่าน/เขียนตั้งต้น โดยควบคุมการเบี่ยงเบนของมุมให้มีค่าไม่เกิน +6.75° (เช่น +6.00°, +5.00° และ +4.00°) และ/หรือควบคุมไม่ให้เกิดตำแหน่งเบี่ยงเบนจะทำให้ความเค้นที่เกิดขึ้นในตัวจับมีค่าลดลงได้

5. ข้อเสนอแนะ

5.1 จากผลการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่าที่ตำแหน่งสัมผัส b จะเกิดความเค้นสูงสุด ดังนั้นในขั้นตอนการประกอบจริง ควรหลีกเลี่ยงมุมเบี่ยงเบนในทิศทาง +ve

5.2 จากการจัดกลุ่มการวางหัวอ่าน/เขียนในหัวข้อที่ 3.3.2 สามารถใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์การเสียหายของตัวจับในสายการผลิตอื่นๆ โดยเปรียบเทียบตำแหน่งบนตัวจับที่เกิดความเสียหายกับความน่าจะเป็นที่หัวอ่าน/เขียนมีมุมเบี่ยงเบนในลักษณะใด เพื่อให้โรงงานปรับปรุงการวางตำแหน่งหัวอ่าน/เขียนตั้งต้นให้ดีขึ้นได้

5.3 งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการเสียหายในเชิงคุณภาพ คณะผู้วิจัยจะทำการศึกษาถึงความเสียหายในเชิงปริมาณ โดยจะศึกษาความเสียหายในระดับความละเอียด (Micro Scale) เพื่อหาอายุการใช้งานจริงในแต่ละมุมและตำแหน่งเบี่ยงเบนต่างๆ ต่อไป

5.4 จากผลการวิเคราะห์การสึกหรอที่เกิดขึ้นกับตัวจับจริง สามารถนำไปเป็นแนวทางปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุเพื่อต้านทานการสึกหรอ เช่นการต้านทานการสึกหรอแบบ Abrasive จะนิยมใช้การเคลือบด้วยฟิล์มแข็ง [20] ซึ่งขณะนี้ผู้วิจัยกำลังทำการศึกษการใช้ฟิล์มแข็งเพื่อช่วยในการลดหรือป้องกันการสึกหรอของตัวจับร่วมด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่สนับสนุนทุนวิจัย และบริษัท Seagate Technology (Thailand) ที่สนับสนุนข้อมูลและตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย



เอกสารอ้างอิง

- [1] Andrea Carlo Ferrari, "Diamond-like carbon for magnetic storage disks," *Journal of Surface and Coatings Technology*, vol.180 –181, pp. 190-206, 2004.
- [2] R. Wood, "Future hard disk drive systems," *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, vol. 321, pp. 555-561, 2009.
- [3] R. Preter, J.Berkowitz, J. Hoehn, A. Xidis, and L. Stover, "Diamond-like carbon applications in high density hard disc recording heads," *Diamond and Related Materials*, vol.10, pp. 271-277, 2001.
- [4] H.Gatzen and H. Beck, "Wear of crystal silicon as a function of surface roughness," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 254, pp. 906-911, 2003.
- [5] L.Zhou, N. Umehara, and Y. Miyake, "Friction and wear properties of hardcoating materials on textured hard disk sliders," *Wear*, vol. 243, pp. 133-139, 2000.
- [6] Hidekazu Kohira, Vijay Prabhakaran, and F.E. Talke, "Effect of air bearing design on wear of diamond-like carbon coated," *Journal of Tribology International*, vol.33, pp. 315-321, 2000.
- [7] Manlin Tan, Yiwu Yan, Huayu Zhang, Xiao Han, Jiaqi Zhu, Jiecai Han, and Hongtao Ma, "Corrosion protection of ultra-thin ta-C films for recording slider applications at varied substrate bias," *Journal of Surface & Coatings Technology*, vol.203, pp. 963-966, 2009.
- [8] S. Kilian, U. Z. Ander, and F. E. Talke, "Suspension modeling and optimization using finite element analysis," *Journal of Tribology International*, vol. 36, pp. 317-324, 2003.
- [9] G. H. Jang, C. H. Seo, and Seong Lee Ho., "Finite element modal analysis of an HDD considering the flexibility of spinning disk–spindle, head–suspension–actuator and supporting structure," *Microsyst Technology*, vol. 203, pp. 837-847, 2007.
- [10] นายเทวิน พันภัย และ ชีระ เจียศิริพงษ์กุล, "การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ HSA ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พร้อมทั้งตรวจสอบการสั่นสะเทือนโดยใช้ SLDV," ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550, จังหวัดชลบุรี, หน้า 2-5.
- [11] ทศนพ กำเนิดทอง, สุรเชษฐ์ ชูติมา, และ จักรพันธ์ ปรirkษ์วิจิตร, "การศึกษาสภาพการเสีรูปของ HGA หลังจากการจับยึด," ในการประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย, ครั้งที่ 21, 17-19 ตุลาคม 2550, จังหวัดชลบุรี, หน้า 2-6.
- [12] P. Naphon, S. Ratchaneekorn, and J. Kurujareon, "Heat transfer and flow characteristics in the hard disk drive tester," in *International Communications in Heat and Mass Transfer*, vol. 36, pp. 820-826, 2009.
- [13] A. J. McEvily, *Metal Failures: Mechanisms, Analysis Prevention*, John Wiley & Sons, 2002, pp.28-35.
- [14] Norman E. Dowling, *Mechanical Behavior of Materials*, 3rd Edition, Pearson Prentice Hall, 2007, pp. 254-257.
- [15] ปณิตดา นิรนาทล้ำพงศ์, การสักรอในงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.
- [16] J. A. Williams, "Wear modelling: analytical, computational and mapping: a continuum mechanics approach," *Wear*, vol. 225-229, pp. 1-17, 1999.
- [17] N. J. Hoboken, *Wear: Materials, Mechanisms and*



- Practice, 1st ed., John Wiley & Sons, 2005, pp. 9-10.
- [18] A. D. Sarkar, *Wear of Metals*, 1st ed., Oxford: Pergamon Press, 1976, pp. 69-132.
- [19] ASM Handbook Committee, ASM Handbook. *Friction, Lubrication and Wear Technology*, U.S.A., ASM International, volume 18, 2002.
- [20] E. Rabinowicz, *Friction and wear of Materials*, 2nded., John Wiley&Sons, 1995, pp.14-25.