การศึกษาผลกระทบของความเค้นเนื่องจากความร้อนจากกระบวนการเชื่อมของ HGA ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Study of Thermal Stress Effect from Soldering Process of HGA using Finite Element Method

อาคม บุตรเพชร[1], สิริวิชญ์ เตชะเจษฎารังษี[2]*

[1, 2] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 4002
*ติดต่อ: E-mail: sirtae@kku.ac.th, เบอร์โทรศัพท์: 0-4320-2697, เบอร์โทรสาร: 0-4320-2849

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาลักษณะการเสียรูปของชุดหัวอ่าน/เขียน (HGA) อันเนื่องมาจากความเค้นเนื่องจากความร้อนในกระบวนการเชื่อมหัวอ่าน/เขียน (Slider) เข้ากับ HGA ของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ เพื่อหาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบน HGA จากนั้นนำค่าอุณหภูมิที่จุดต่อต่างๆมาคำนวณเพื่อหาค่าความเค้นและการเสียรูปของ HGA ที่เกิดขึ้น จากการศึกษาพบว่า HGA มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างขึ้นจากเดิมเท่ากับ 0.11 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกระบวนการเชื่อม โดยที่ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มีความสอดคล้องกับการทดลอง

คำหลัก: ชุดหัวอ่าน/เขียน, การกระจายตัวของอุณหภูมิ, ความเค้นเนื่องจากความร้อน, ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This research is to study Head Gimbal Assembly (HGA) deformation through thermal stress in soldering the Slider to connect HGA of the Hard Disk Drive (HDD). A Finite Element Program was used in this research to analyze and determine the temperature distribution on the HGA then used these temperature distributions to calculate thermal stress and deformation on the HGA. The results show that the HGA deformations are 0.11% from soldering process. In this research the good agreement between Finite Element Method and experiment in observed.

Keywords: HGA, Temperature distribution, Thermal stress, Finite Element Method.

1. บทนำ

เนื่องจากในปัจจุบันได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นจากกระบวนการประกอบชิ้นส่วนของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟในขั้นตอนของการเชื่อมต่อหัวอ่าน/เขียน (Slider) เข้ากับชุดหัวอ่าน/เขียน (HGA) โดยวิธีการบัดกรีด้วยโลหะบัดกรี ซึ่งกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นและเย็นตัวลงใน HGA บริเวณจุดที่ทำการบัดกรี และส่งผลต่อการเสียรูปของ HGA ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการอ่านและเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟได้ ดังนั้นแนวทางในแก้ปัญหาและการลดความเสียหายที่เกิดขึ้นสามารถนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในวิเคราะห์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมและลักษณะการเสียรูปของ HGA ที่เกิดขึ้น ในกระบวนการเชื่อมบัดกรีหัวอ่าน/เขียน ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ต้นทุนน้อย ไม่ต้องสิ้นเปลืองวัสดุที่ใช้ในการทดลอง และสามารถนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปปรับปรุงกระบวนการเชื่อมของหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟเพื่อให้ได้ HGA ที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาพฤติกรรมความเสียหายของชิ้นส่วน HGA ที่ผ่านการกระบวนการเชื่อมต่อหัวอ่านเขียนด้วยโลหะบัดกรี (Solder ball) โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์อิลิเมนต์ในการวิเคราะห์หาความเค้นเนื่องจากความร้อนและหาลักษณะการเสียรูปดังกล่าว

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การแลกเปลี่ยนความร้อนที่ขึ้นกับเวลา

สมการการถ่ายเทความร้อนที่ขึ้นกับเวลาของของแข็งใน 3 มิติ

$$\frac{\partial}{\partial x_i}\left(k_{x_i}\frac{\partial T}{\partial x_i}\right)+Q=\rho c\frac{\partial T}{\partial t} \qquad (1)$$

เมื่อ

- ρ คือความหนาแน่นเชิงมวล
- c คือความจุความร้อนจำเพาะ
- k_{x_i} คือเทนเซอร์ (Tensor) ของค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน
- Q คือความร้อนที่ผลิตได้เอง
- T คืออุณหภูมิที่แปรผันกับระยะในแกน x_i และเวลา t
- x_i คือระยะในแนวแกนหลัก

2.2 ความเค้นเนื่องจากความร้อน

สมการความเค้นเนื่องจากความร้อนใน 3 มิติ

$$\sigma_{ij}=\lambda\delta_{ij}e+2G\varepsilon_{ij}-(3\lambda+2G)\delta_{ij}\alpha(T-T_0) \qquad (2)$$

$$\lambda=\frac{\upsilon E}{(1+\upsilon)(1-2\upsilon)} \qquad (3)$$

$$G=\frac{E}{2(1+\upsilon)} \qquad (4)$$

$$e=\varepsilon_{11}+\varepsilon_{22}+\varepsilon_{33} \qquad (5)$$

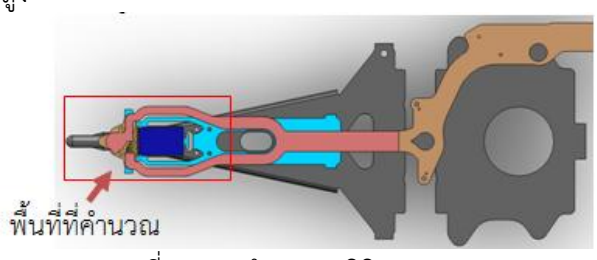
เมื่อ

- σ_{ij} คือเทนเซอร์ของค่าความเค้น
- T_0 คืออุณหภูมิอ้างอิงที่ความเค้นเป็นศูนย์
- α คือสัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน
- ε_{ij} คือเทนเซอร์ของค่าความเครียด
- δ_{ij} เท่ากับ 1 เมื่อ $i=j$ หรือเท่ากับ 0 เมื่อ $i\neq j$
- E คือค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)
- υ คืออัตราส่วนปัวส์ซง (Poisson ratio)

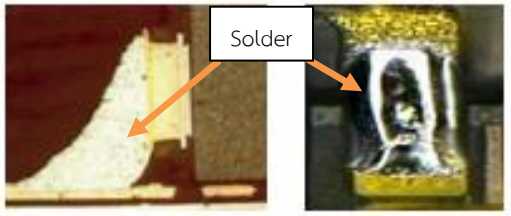
3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 การสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์

แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (CAD Model) ของ HGA ประกอบไปด้วย 6 ชิ้นส่วน ได้แก่ Load beam, SST, CU, PI, Slider และ Solder โดยในงานวิจัยนี้จะสมมติให้ Solder เป็นรูปทรงสามเหลี่ยมตันที่มีปริมาตรเท่ากับปริมาตรของ Solder ball ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 60 ไมโครเมตร โดยรูปทรงสามเหลี่ยมตันดังกล่าวได้จำลองจากการใช้กล้องถ่ายภาพกำลังขยายสูง

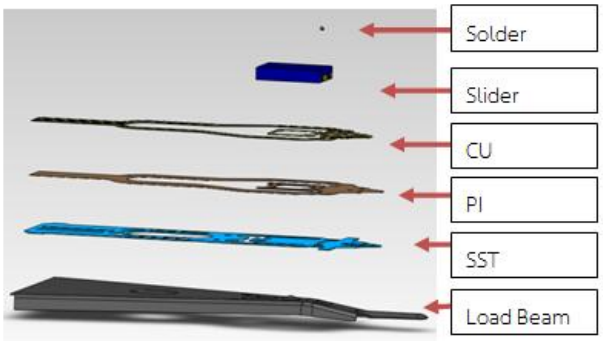


รูปที่ 1 แบบจำลอง 3 มิติของ HGA



รูปที่ 2 ภาพถ่ายของ Solder ด้านข้าง และด้วนหน้าหลังจากกระบวนการเชื่อม

เมื่อตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงาน HGA แล้วจึงกำหนดพื้นที่ในการคำนวณหาคำตอบเพื่อช่วยลดขนาดของปัญหาและระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณโดยได้เลือกบริเวณส่วนปลายของ HGA ที่อยู่ในกรอบสีเหลี่ยมในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นบริเวณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากกระบวนการเชื่อมมากที่สุด ซึ่งส่วนประกอบของ HGA ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงในรูปที่ 3

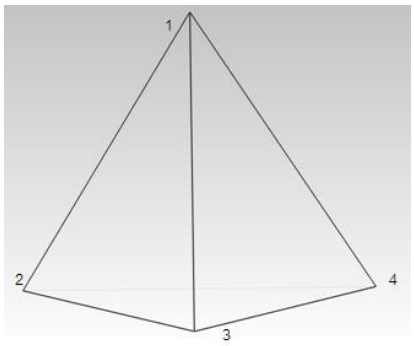


รูปที่ 3 ส่วนประกอบของ HGA ที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

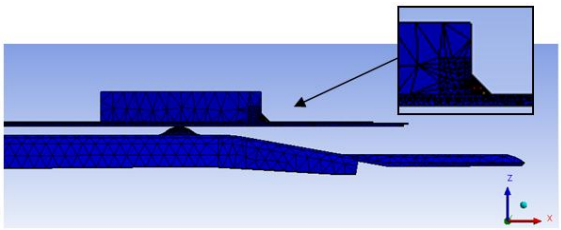
3.2 การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์

การสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของชิ้นส่วน HGA ได้เลือกใช้อิเลเมนต์ทรงจัตุรมุข (Tetrahedron element) โดยมี 4 จุดต่อ ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยที่

ชิ้นส่วนที่มีขนาดของเอลิเมนต์เล็กกว่าชิ้นส่วนอื่นคือ Solder ซึ่งขนาดของเอลิเมนต์ที่เล็กที่สุดมีขนาดประมาณ 0.004 มิลลิเมตร และชิ้นส่วนที่มีขนาดของเอลิเมนต์ใหญ่กว่าชิ้นส่วนอื่นคือ Load beam ซึ่งขนาดของเอลิเมนต์ที่ใหญ่ที่มีขนาดประมาณ 0.09 มิลลิเมตร โดยมีเอลิเมนต์จำนวนทั้งหมดเท่ากับ 103,956 เอลิเมนต์ และ มีจำนวนจุดต่อทั้งหมดเท่ากับ 182,601 จุดต่อ ซึ่งลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ (meshing) ของ HGA จะมีความละเอียด และขนาดเอลิเมนต์ที่เล็กบริเวณ Solder ซึ่งเป็นบริเวณที่ต้องการความซับซ้อนของเอลิเมนต์ ในการวิเคราะห์หาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 4 รูปแบบของเอลิเมนต์ทรงจัตุรมุข



รูปที่ 5 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของ HGA และลักษณะการแบ่งเอลิเมนต์ (meshing)

3.3 คุณสมบัติของวัสดุ

การวิเคราะห์ปัญหาทางไฟไนต์เอลิเมนต์จะประกอบด้วยสองส่วนคือ ปัญหาทางความร้อนและปัญหาทางกลศาสตร์ของแข็ง จำเป็นต้องกำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับชิ้นส่วนต่างๆ โดยคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อนในการหาการกระจายตัวของอุณหภูมิประกอบด้วย ความหนาแน่น (Density), ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific heat) และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal conductivity) แสดงในตารางที่ 1 และส่วนคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางกลศาสตร์ของแข็งเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความเค้นเนื่องจากความร้อนที่เกิดขึ้นประกอบด้วย สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน (Coefficient of thermal expansion), ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และอัตราส่วนปัวส์ซง (Poisson ratio) ได้แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางความร้อน

คุณสมบัติของวัสดุ	ความหนาแน่น ($kg\ m^{-3}$)	ความจุความร้อนจำเพาะ ($J\ kg^{-1}\ K^{-1}$)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน ($W\ m^{-1}\ K^{-1}$)
Load beam	8070	480	15.1
SST	7750	480	15.1
CU	8300	385	401
PI	1400	1150	0.25
Slider	4250	880	40
Solder	7380	230	63.2

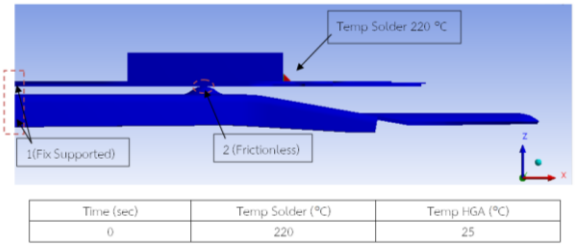
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการวิเคราะห์ปัญหากลศาสตร์ของแข็ง

คุณสมบัติของวัสดุ	สัมประสิทธิ์การขยายตัวทางความร้อน ($10^{-5}\ K^{-1}$)	ค่าคงที่ของการยืดหยุ่น (MPa)	อัตราส่วนปัวส์ซง
Load beam	1.7	193,000	0.13
SST	1.7	193,000	0.13
CU	1.8	110,000	0.34
PI	4.0	5,860	0.33
Slider	0.75	410,000	0.20
Solder	2.16	50,000	0.36

3.4 ภาระและเงื่อนไขขอบเขตของปัญหา

ในแบบจำลองของปัญหาจะสมมติให้ไม่มีผลกระทบจากความคืบ (Creep) และไม่คิดความต้านทานทางความร้อนที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันของชิ้นงาน (Thermal contact resistance) ภาระโหลดทางความร้อนที่ใช้จะเป็นการกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้นให้กับ Solder ที่อุณหภูมิ 220 องศาเซลเซียส แล้วปล่อยให้เย็นตัวลงโดยเปลี่ยนแปลงตามเวลา และอุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงานทั้งหมดกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส แสดงใน

รูปที่ 6 โดยมีสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามธรรมชาติที่อุณหภูมิห้องปกติ (25 °C) เท่ากับ 10 W/(m^{2}°C) ส่วนในการวิเคราะห์เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและความเค้นเนื่องจากความร้อนจะใช้อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา (Time Step) มาเป็นภาวะทางความร้อนและทำการจับยึดดังแสดงในรูปที่ 6 ตำแหน่งของการจับยึดจะอยู่บริเวณส่วนต้นของ HGA โดยทำการจับยึดระนาบของชิ้นงาน หมายเลข 1 ไม่ให้มีการเคลื่อนที่ในทุกทิศทาง (Fix Supported) และ หมายเลข 2 เป็นบริเวณพื้นที่สัมผัสระหว่างชิ้นส่วนของ Load beam และ SST กำหนดให้เป็นพื้นที่ที่มีแรงเสียดทานระหว่างผิวสัมผัสน้อยมาก (Frictionless) ส่วนพื้นที่สัมผัสของชิ้นส่วนที่เหลือกำหนดให้เป็นจุดที่ชิ้นงานมีการเชื่อมติดกัน (Bonded) โดยกำหนดอุณหภูมิที่มีความเค้นเป็นศูนย์ ให้มีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส



Time (sec)	Temp Solder (°C)	Temp HGA (°C)
0	220	25

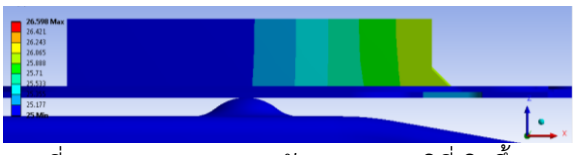
รูปที่ 6 เงื่อนไขขอบเขตของปัญหา และสภาวะอุณหภูมิเริ่มต้นของชิ้นงานก่อนกระบวนการเชื่อมบัดกรี

3.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อหาการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้น

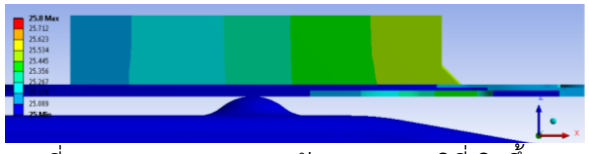
การกระจายตัวของอุณหภูมิในชิ้นส่วนต่างๆของ HGA ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา ซึ่งแต่ละช่วงเวลาจะไม่เท่ากัน ตั้งแต่เริ่มทำการเชื่อมที่เวลา 0 วินาที จนเข้าสู่สภาวะสมดุลที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส ที่เวลาประมาณ 0.1 วินาที ได้แสดงในรูปที่ 7 ถึงรูปที่ 11 โดยในแต่ละรูปนั้นบอกตำแหน่งบริเวณที่อุณหภูมิสูงสุด และอุณหภูมิต่ำสุด ในหน่วยองศาเซลเซียส แยกตามระดับของเฉดสี และในรูปที่ 12 แสดงถึงอุณหภูมิสูงสุดของ HGA ที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในการเชื่อมหนึ่งจุดเชื่อม จะเห็นได้ว่า มีค่าเริ่มต้นที่ 220 องศาเซลเซียส และลดลงอย่างรวดเร็ว จนเข้าสู่สภาวะสมดุล ที่ 25 องศาเซลเซียส อันเนื่องมาจากมวลของ Solder มีขนาดเล็กมากเมื่อเทียบกับมวลทั้งหมดของ HGA จึงทำให้มีการลดลงของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว

รูปที่ 7 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนต่างๆ HGA ณ เวลาที่ 0.0011 วินาที

รูปที่ 8 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนต่างๆ HGA ณ เวลาที่ 0.002 วินาที

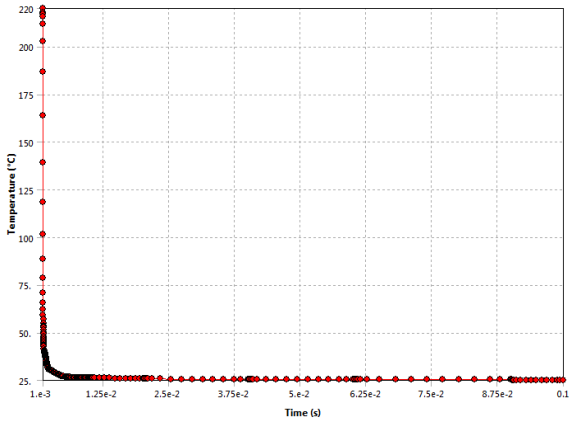


รูปที่ 9 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนต่างๆ HGA ณ เวลาที่ 0.006 วินาที



รูปที่ 10 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนต่างๆ HGA ณ เวลาที่ 0.02 วินาที

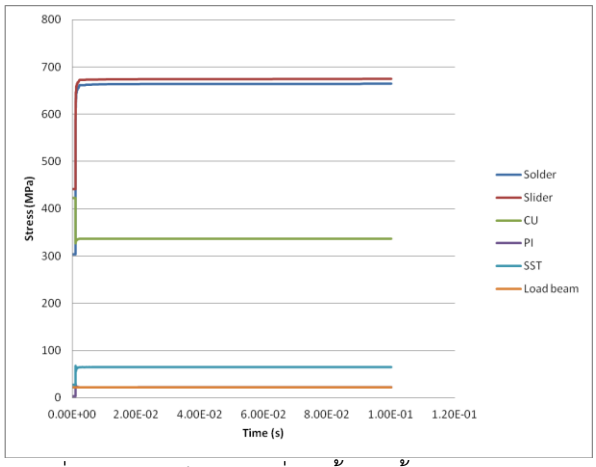
รูปที่ 11 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนต่างๆ HGA ณ เวลาที่ 0.1 วินาที



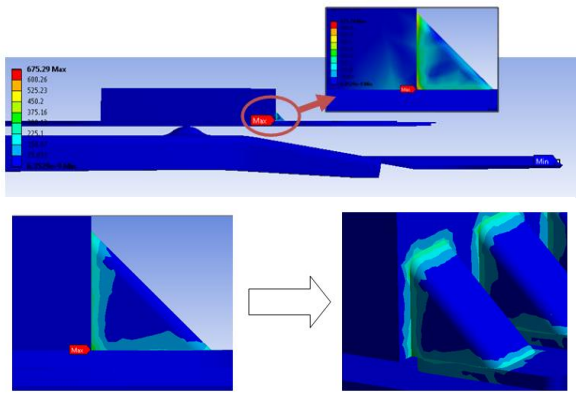
รูปที่ 12 อุณหภูมิสูงสุดของ HGA ที่เกิดขึ้นและเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในหนึ่งจุดเชื่อม

3.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์เพื่อหาความเค้น

การวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อหาความเค้นเนื่องจากความร้อนโดยความเค้นที่ได้นั้นจะเป็นความเค้นวอนมิสเซส (Von misses stress) ในรูปที่ 13 จะแสดงความเค้นสูงสุดในหน่วยเมกะปาสคาล (MPa) ที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนต่างๆของ HGA ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา (Time Step) ซึ่งในแต่ละช่วงเวลาจะไม่เท่ากัน และในรูปที่ 14 จะแสดงการกระจายความเค้นในหน่วยเมกะปาสคาล ณ ช่วงเวลาที่ 0.1 วินาที ซึ่งเป็นช่วงที่อุณหภูมิของ HGA เข้าสู่สมดุลที่อุณหภูมิห้อง 25 องศาเซลเซียส โดยได้แสดงตำแหน่งความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบน HGA บริเวณจุดเชื่อม หลังจากกระบวนการเชื่อม



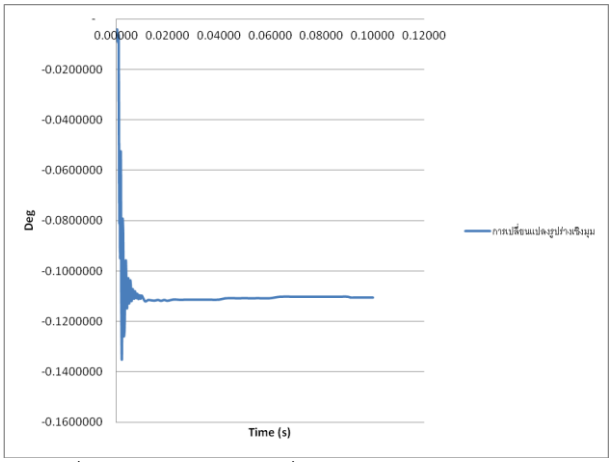
รูปที่ 13 ความเค้นสูงสุดที่เกิดขึ้นบนชิ้นส่วนต่างๆ ของ HGA ที่เปลี่ยนแปลงตามช่วงเวลา



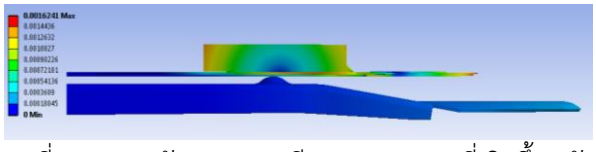
รูปที่ 14 ความเค้นที่เกิดขึ้นบน HGA ที่สภาวะสมดุลของอุณหภูมิ ที่เวลา 0.1 วินาที

3.7 ลักษะการเสียรูปและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ HGA

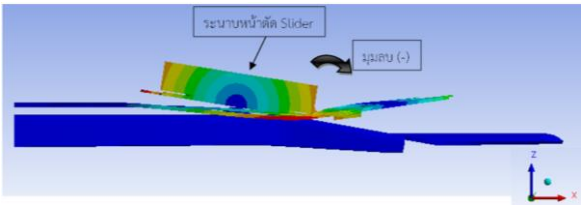
โดยทั่วไปในการวิเคราะห์หาการเสียรูปและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ HGA ที่เกิดจากกระบวนการเชื่อม จะทำการวัดอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเชิงมุมของระนาบหน้าตัด Slider ที่เปลี่ยนไประหว่างก่อนการเชื่อมและหลังการเชื่อม โดยในรูปที่ 15 ได้แสดงค่าอัตราส่วนเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเชิงมุมที่เกิดขึ้นบนหน้าตัด Slider ในแต่ละช่วงเวลาต่างๆ โดยถ้าค่าเป็นบวกจะหมายถึงมีการยกตัวขึ้นของ Slider ตามแนวแกน Z และถ้าค่ามีค่าเป็นลบจะหมายถึงมีการกดตัวลงของ Slider เข้ากับ Load beam ตามแนวแกน Z จะเห็นได้ว่าเมื่อเข้าสู่สภาวะสมดุลหลังการเชื่อม มีได้ค่าเปอร์เซ็นต์การเปลี่ยนแปลงรูปร่างเชิงมุมสุดท้ายเท่ากับ 0.11 เปอร์เซ็นต์ โดยมีทิศทางเป็นลบ และในรูปที่ 16 ได้แสดงลักษณะการเสียรูปและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ HGA ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการเชื่อมบัดกรีด้วย Solder ball ที่เวลา 0.1 วินาที ส่วนในรูปที่ 17 เป็นภาพขยายขนาด 75 เท่า เพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง และทิศทางของมุมหน้าตัด Slider ที่เป็นลบ ให้เห็นจัดเจนมากขึ้น



รูปที่ 15 แสดงค่าการเปลี่ยนแปลงรูปร่างเชิงมุมของระนาบ Slider ที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาต่างๆ



รูปที่ 16 แสดงลักษณะการเสียรูปของ HGA ที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการเชื่อม ที่เวลา 0.1 วินาที



รูปที่ 17 ภาพขยาย 75 เท่า แสดงทิศทางการเสียรูปของระนาบหน้าตัด Slider ในทิศลบ

4. บทสรุป

ผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์พบว่า ในกระบวนการเชื่อมหัวอ่าน Slider เข้ากับ HGA ด้วยโลหะบัดกรี (Solder ball) ที่ใช้อุณหภูมิในการบัดกรีเริ่มต้นที่ 220 องศาเซลเซียส หลังจากกระบวนการเชื่อมจะมีการเย็นตัวลงของ Solder เท่ากับอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส ทำให้เกิดการหดตัวของ Solder และเกิดความเค้นขึ้นบริเวณจุดเชื่องของ HGA แสดงในรูปที่ 14 ส่งผลกระทบต่อการเสียรูปและเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ HGA ไปจากเดิมมีค่าเท่ากับ 0.11 เปอร์เซ็นต์ แสดงในรูปที่ 15 เมื่อนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์โดยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาเปรียบเทียบกับผลจากการทดลองจริงมีความสอดคล้องและใกล้เคียงกัน โดยผลจากการทดลองจริงหลังจากผ่านกระบวนการเชื่อมของ HGA จะได้การโกงตัวเชิงมุมของ Slider จะมีค่าลดลง และแนวทางที่จะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นดังกล่าวนั้นคือการเลือกใช้อุณหภูมิในกระบวนการเชื่อมบัดกรีของ HGA ให้มีค่าลดลง หรือปรับขนาดของชิ้นงานให้ใหญ่เพื่อให้สามารถทนต่อค่าความแค้นที่เกิดขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เพื่อวิเคราะห์หาการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นจากความเค้น เนื่องจากความร้อนในแบบจำลอง 3 มิติ เพื่อทำนายการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่เกิดขึ้นหลังกระบวนการเชื่อมและหาวิธีที่จะลดความเสียหายดังกล่าว และยังช่วยลดต้นทุนและระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตของฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

5.กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัท ซีเกท เทคโนโลยี(ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนทุนวิจัยในงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

6.1 บทความจากวารสาร (Journal)

[1] H.T. Chen, C.Q. Wang and M.Y. Li (2006). Numerical and experimental analysis of the Sn3.5Ag0.75Cu solder joint reliability under thermal cycling, *Microelectronics Reliability 46*, 2006, pp. 1348-1356.

[2] Paisarn, N. and Sirirat, M. (2010). Temperature distribution of read/write head soldering with ribbon cable of HDD, *International Communications in Heat and Mass Transfer 37*, 2010, pp. 379-384.

[3] เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต และ ศันสนีย์ ขุนทิพย์ทอง (2009). การศึกษาการเปลี่ยนแปลงค่า Pitch และค่า Roll ของหัวอ่าน/เขียนฮาร์ดดิสก์อันเนื่องมาจากค่าแรงที่ใช้จับยึดระหว่างการวัดค่าด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, *วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยขอนแก่น*, 14(9), กันยายน 2552, หน้า 871-880.

[4] ปณัสสา สิทธิผล, นิติน อัฟซูลเพอร์การ์, ณัฐวุฒิ เทพยสุวรรณ และ โจฮาน รินเดล (2552). การจำลองกระบวนการการผลิตแขนยึดจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟที่มีผลต่อความสูงที่คงที่, *วารสารวิศวกรรมศาสตร์*, 2009(1), พฤศจิกายน 2552, หน้า 73-84.

6.2 บทความจากเอกสารประกอบการประชุม (Proceedings)

[1] Teerawat, K. and Vitoon, U. (2011). FE Simulation of a Laser Scribing Process for a Head Suspension in Hard Disk Drives, paper presented in *The 4th International DaTa Storage Technology Conference*, Nonthaburi, Thailand.

[2] ปริญญา พงษ์ทอง, วิโรจน์ ลิ่มตระการ (2552). การวิเคราะห์ความเค้นเนื่องจากความร้อนใน PCCA ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์, *การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23*, จังหวัดเชียงใหม่

6.3 หนังสือ

[1] Holman, J.P. (1992). *Heat Transfer*, 7th edition, McGraw-Hill, New York.

[2] S. Timoshenko and J.N. Goodier (1951). *Theory of Elasticity*, 2nd edition, McGraw-Hill, New York.

[3] ปราโมทย์ เดชะอำไพ (2547). *ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม*, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์, กรุงเทพฯ.