

การศึกษาการดัดขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและความร้อน
ของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



นายชัยศักดิ์ สัจจวัฒนา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2554

**STUDY OF MECHANICAL AND THERMAL BENDING
OF THIN STAINLESS STEEL
BY FINITE ELEMENT METHOD**

Chaiyapak Sajjawattana



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2011

การศึกษาการดัดขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและความร้อน
ของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.จิระพล ศรีเสวีผล)

ประธานกรรมการ

(อ. ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(อ. ดร.อุษณีย์ กิตติมาตร)

กรรมการ

(อ. ดร.สุภกิจ รูปจันทร์)

กรรมการ

(อ. ดร.รัตน ปริสุทธิกุล)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชัยศักดิ์ สัจจวัฒนา : การศึกษาการดัดขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและความร้อนของเหล็กกล้า
ไร้สนิมแผ่นบาง ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (STUDY OF MECHANICAL AND
THERMAL BENDING OF THIN STAINLESS STEEL BY FINITE ELEMENT
METHOD) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์, 74 หน้า.

ในการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์นั้น ตัวแปรสำคัญหนึ่งที่ต้องควบคุมหรือทำให้ได้ค่าตามกำหนดคือ ค่ากรัมโหลดของแขนจับ ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ถึงความแน่นอนในการควบคุมให้ระยะห่างระหว่างแผ่นดิสก์กับหัวอ่าน/เขียนอยู่ในระยะที่เหมาะสม แขนจับหัวอ่านนี้ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 ซึ่งถูกขึ้นรูปให้มีลักษณะงอ จากนั้นทำการดัดทางกลซ้ำเพื่อให้ค่ากรัมโหลดอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการปรับค่ากรัมโหลดโดยใช้เลเซอร์ซึ่งเป็นการปรับค่าแบบละเอียด โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของระยะการดัดซ้ำและปริมาณความร้อนจากเลเซอร์ที่ให้กับแขนจับหัวอ่านต่อการเปลี่ยนแปลงของค่ากรัมโหลดซึ่งได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลการปรับค่ากรัมโหลดของแขนจับหัวอ่านจากกระบวนการจริงในภาคอุตสาหกรรม และส่วนที่ 2 เป็นการจำลองกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยในการวิเคราะห์นั้นใช้ค่าคุณสมบัติวัสดุที่ได้จากการทดสอบแรงดึงชิ้นงานที่มีความหนาเท่ากับ 0.025 มิลลิเมตร จากนั้นสร้างแบบจำลองของแขนจับหัวอ่านและจำลองกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 ทั้งนี้กำหนดระยะในการดัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกลในช่วง 2-3 มิลลิเมตรเทียบกับตำแหน่งอ้างอิง และกำหนดปริมาณความร้อนที่ให้กับชิ้นส่วนแขนจับหัวอ่าน ด้วยกำลังของเลเซอร์ 5-6 วัตต์ ส่วนเวลาให้เท่ากับ 0.5 วินาที ผลการจำลองพบว่า ค่ากรัมโหลดภายหลังจากกระบวนการดัดด้วยวิธีทางกลมีค่าลดลงไปจากเดิม 0.15-1.80 กรัม และหลังจากกระบวนการดัดด้วยความร้อนด้วยเลเซอร์ลดลงไปจากเดิม 0.17-0.23 กรัม ซึ่งการที่ค่ากรัมโหลดภายหลังการปรับมีค่าลดลงนั้นเนื่องมาจากการดัดยังผลให้ชิ้นงานมีลักษณะการงออ่อนลง และการให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ลงไปยังบริเวณที่ชิ้นงานงอด้านเว้าก็ส่งผลให้ชิ้นงานงออ่อนลงเช่นกัน

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

CHAIYAPAK SAJJAWATTANA : STUDY OF MECHANICAL AND
THERMAL BENDING OF THIN STAINLESS STEEL BY FINITE
ELEMENT METHOD. THESIS ADVISOR : SOMSAK
SIWADAMRONGPONG. Ph.D., 74 PP.

THIN STAINLESS STEEL/FINITE ELEMENT METHOD/GRAM LOAD

In suspension manufacturing, one of the most important factors is the suspension preload or called “gram load”. Such factor controls the flying height during the operation of the hard drive. The suspensions made of SUS 304 stainless steel are formed in manufacturing process and further adjusted by mechanical bending until the gram load is in a certain range. Finally, fine gram load adjustment is carried out by heat treatment. This research aimed to determine the relationship between both the bending displacement, and the amount of heat from laser and the changes of the suspension of the gram load. The study was divided into two parts. The first part was the recording of gram load during adjustment in the industrial process and the second part is the simulation of the gram load adjustment process using finite element method. The material properties were obtained from the tensile testing. The tensile test pieces had a thickness of 0.025 mm, which was similar to that of suspensions. Then the suspension CAD model was generated and the simulation of gram load adjustment process was carried out using ANSYS Workbench 12.0. The bending displacements were set in the range of 2-3 mm with respect to the reference height. The amounts of heat supplied to the suspension were from laser shining 5-6 watts for time 0.5 seconds. The simulation results suggested that mechanical bending led to the

0.15-1.80 grams decrease in gram load and the laser treatment could decrease gram load for 0.17-0.23 grams. Such results were due to the change in suspension shape which became less bent.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2011

Student's Signature_____

Advisor's Signature_____

Co-Advisor's Signature_____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบุคคลและกลุ่มบุคคลต่างๆ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ และช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

ศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านการผลิตขั้นสูงในอุตสาหกรรมฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (IUCRC in Advanced Manufacturing) ที่ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาและทำการวิจัย

บริษัท แมกเนคอมพ์ ฟริชชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) ที่อนุเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญ สำหรับใช้ในการทำงานวิจัย

รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ คณบดีสำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ ที่ให้ความรู้ด้านวิชาการที่เป็นประโยชน์ในการดำเนินงานวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกลที่ให้ความรู้ คำปรึกษาและชี้แนวทางในการทำการวิจัย

อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ ศิวดำรงพงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร.อุษณีย์ กิตกำธร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้ให้ความรู้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและชี้แนวทาง ในการทำการวิจัย ตลอดจนการดำเนินชีวิตประจำวัน จนทำให้ผู้วิจัยฟันฝ่าอุปสรรคต่างๆ ไปได้

อาจารย์ ดร.สุภกิจ รูปจันทร์ และ อาจารย์ ดร.รัตน บริสุทธิกุล ที่ให้ความรู้แนะนำวิธีการใช้ โปรแกรมในการวิเคราะห์แก้ไขปัญหา ในการทำงานวิจัย จนทำให้งานวิจัยสำเร็จลุล่วง

ท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ นายชนเดช-นางสิวพร สัจจวัฒนา ที่อบรมสั่งสอน ส่งเสริม การศึกษา ให้กำลังใจในการดำเนินชีวิต ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาท วิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ

ชัยศักดิ์ สัจจวัฒนา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ฎ

บทที่

1 บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	1
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย	2
1.5 สถานที่ทำงานวิจัย	2
1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3

2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์	4
2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์	5
2.2.1 แขนของหัวอ่าน (Actuator Arm)	6
2.2.2 แขนจับหัวอ่าน (Suspension)	6
2.2.3 หัวอ่าน/เขียน (Slider and Heads).....	7
2.2.4 แผ่นดิสก์หรือจานแม่เหล็ก (Disk or Platters)	8
2.2.5 มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor)	8

สารบัญ (ต่อ)

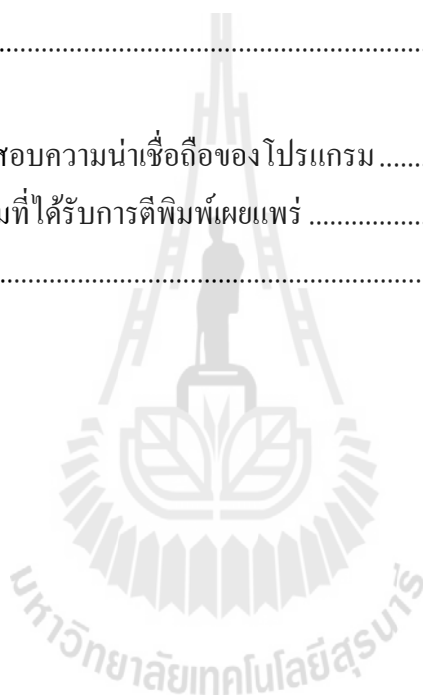
หน้า

2.3	หลักการทํางานของฮาร์ดดิสก์	8
2.4	ค่ากรัมโหลด (Gram Load)	10
2.5	กระบวนการปรับค่ากรัมโหลด	10
2.5.1	กระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล (Mechanical Adjustment : MC)	12
2.5.2	กระบวนการปรับค่าด้วยเลเซอร์ (Laser Adjustment : LS)	12
2.5.3	กระบวนการปรับมุมปลายแขน (Static Attitude Adjustment : SA)	13
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	13
3	วิธีการดําเนินงานวิจัย	15
3.1	การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ	15
3.1.1	การเตรียมชิ้นงานทดสอบ	15
3.1.2	การทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง	17
3.2	การกำหนดเงื่อนไขเพื่อการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม	21
3.3	การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ	25
3.4	การกำหนดเงื่อนไขการจับยึดชิ้นงาน	26
3.5	การกำหนดขนาดของเอลิเมนต์	27
3.6	การกำหนดเงื่อนไขการตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์	28
3.7	การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและการคำนวณค่ากรัมโหลด	29
4	ผลการวิจัยและอภิปรายผล	30
4.1	ผลการวิจัย	30
4.1.1	ผลการทดสอบค่ากรัมโหลด	30
4.1.2	ผลการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล	32
4.1.3	ผลการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดด้วยความร้อนจากเลเซอร์	39

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	อภิปรายผล	43
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปผลการวิจัย	44
5.2	ข้อเสนอแนะ	45
	รายการอ้างอิง	46
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. การทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม	48
	ภาคผนวก ข. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	57
	ประวัติผู้เขียน	74



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	คุณสมบัติเชิงกลของ SUS 304.....25
4.1	เปรียบเทียบค่ากรัมโหลตที่ได้จากโปรแกรมกับระยะการตัด.....32
4.2	ผลของกำลังเลเซอร์กับค่ากรัมโหลตที่ระยะอ้างอิง ในระยะเวลา 0.5 วินาที39
ก.1	คุณสมบัติวัสดุของ Structural Steel49
ก.2	ผลของแรงกระทำทางกลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม51
ก.3	ผลของความร้อนที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม.....52
ก.4	เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่ได้จากโปรแกรม56



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk).....	4
2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์	5
2.3 ส่วนประกอบแขนของหัวอ่าน	6
2.4 แบบจำลองส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน (Suspension).....	7
2.5 หัวอ่าน/เขียนข้อมูล	7
2.6 ระยะความสูงจากหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ (Flying Height)	9
2.7 แผนภาพการทำงานของเครื่อง MCL SPLBackEnd.....	11
2.8 กระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล.....	12
2.9 กระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยเลเซอร์	13
3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8	16
3.2 การติดตั้งเกจวัดความเครียดบนชิ้นงานทดสอบ	17
3.3 ค่าความเค้นกับความเครียดของชิ้นงานทิศทางตามแนวรีด.....	18
3.4 ค่าความเค้นกับความเครียดของชิ้นงานทิศทางขวางแนวรีด	19
3.5 ค่าความเค้นที่ 300-500 MPa กับความเครียด ของชิ้นงานทิศทางตามแนวรีด.....	19
3.6 ค่าความเค้นที่ 300-500 MPa กับความเครียด ของชิ้นงานทิศทางขวางแนวรีด	20
3.7 ค่าความเครียดกับแรงดึงของชิ้นงานทิศทางตามแนวรีด	20
3.8 ค่าความเครียดกับแรงดึงของชิ้นงานทิศทางขวางแนวรีด.....	21
3.9 แบบจำลองของแขนจับหัวอ่าน (Suspension).....	22
3.10 Drawing แบบจำลองของ Load Beam	22
3.11 Drawing แบบจำลองของ Mount Plate	23
3.12 Drawing แบบจำลองของ Hinge	23
3.13 แบบจำลองของแขนจับหัวอ่านที่ใช้.....	24
3.14 แสดงระยะอ้างอิงที่ใช้ในการจำลองการวัดค่ากรัม โหลด.....	25

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.15	ตำแหน่งจับยึดชิ้นงาน26
3.16	ตำแหน่งเชื่อมต่อแบบยึดแน่นของชิ้นงาน26
3.17	เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์27
3.18	บริเวณที่ฉายเลเซอร์บนชิ้นงาน28
3.19	ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม.....29
4.1	ค่ากรัมโพลต์ที่วัดได้กับระยะในการเคลื่อนที่ของหัววัดแรง.....31
4.2	ค่ากรัมโพลต์ที่วัดได้กับระยะในการเคลื่อนที่ ของหัววัดแรง 2-3 มิลลิเมตร31
4.3	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรัมโพลต์ที่เปลี่ยนไป กับระยะการตัดช่วง 2-3 มิลลิเมตร32
4.4	ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2 มิลลิเมตร33
4.5	ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.2 มิลลิเมตร33
4.6	ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.4 มิลลิเมตร34
4.7	ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.6 มิลลิเมตร34
4.8	ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.8 มิลลิเมตร35
4.9	ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 3 มิลลิเมตร35
4.10	ความเครียดถาวรหลังจากตัดด้วยระยะ 2 มิลลิเมตร36
4.11	ความเครียดถาวรหลังจากตัดด้วยระยะ 2.2 มิลลิเมตร36
4.12	ความเครียดถาวรหลังจากตัดด้วยระยะ 2.4 มิลลิเมตร37
4.13	ความเครียดถาวรหลังจากตัดด้วยระยะ 2.6 มิลลิเมตร37
4.14	ความเครียดถาวรหลังจากตัดด้วยระยะ 2.8 มิลลิเมตร38
4.15	ความเครียดถาวรหลังจากตัดด้วยระยะ 3 มิลลิเมตร38
4.16	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อน กับการเปลี่ยนแปลงค่ากรัมโพลต์40
4.17	การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อน ด้วยเลเซอร์ 5 วัตต์.....40

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.18 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อน ด้วยเลขเซอร์ 5.2 วัดต์.....	41
4.19 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อน ด้วยเลขเซอร์ 5.4 วัดต์.....	41
4.20 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อน ด้วยเลขเซอร์ 5.6 วัดต์.....	42
4.21 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อน ด้วยเลขเซอร์ 5.8 วัดต์.....	42
4.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อน ด้วยเลขเซอร์ 6 วัดต์.....	43
ก.1 แผ่นบางที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks 2010	50
ก.2 กำหนดแรงกระทำและจุดจับยึด.....	50
ก.3 เอลิเมนต์ที่ใช้กับชิ้นงาน.....	51
ก.4 การให้ความร้อนกับแบบจำลอง.....	52



คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

HGA	Head Gimbal Assembly
HSA	Head Stack Assembly
RPM	Revolution per Minute
MC	Mechanical Adjustment
LS	Laser Adjustment
SA	Static Attitude Adjustment
PSA	Pitch Static Attitude
RSA	Roll Static Attitude
E_{ij}	Young's Modulus
ν_{ij}	Poisson's Ratio
$\bar{q}$	Average Heat Flux by Laser
A	Heat Absorption by Laser
P	Laser Power
r	Laser Beam Radius

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการผลิตแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์นั้น ตัวแปรสำคัญหนึ่งที่ต้องควบคุมหรือทำให้ได้ค่าตามกำหนดคือ ค่า گرمไหลของแขนจับ ซึ่งเป็นตัวแปรที่บ่งชี้ถึงความแน่นอนในการควบคุมให้ระยะห่างระหว่างคิส์กับหัวอ่านอยู่ในระยะที่เหมาะสม แขนจับหัวอ่านนี้ผลิตจากเหล็กกล้าไร้สนิมเกรด SUS 304 ซึ่งถูกขึ้นรูปให้มีลักษณะงอ จากนั้นทำการตัดซ้ำเพื่อให้ค่า گرمไหลอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และในขั้นตอนสุดท้ายเป็นการปรับค่า گرمไหลโดยใช้เลเซอร์ซึ่งเป็นการปรับค่าแบบละเอียด อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาและอธิบายถึงผลกระทบจากการตัดขึ้นรูปและการให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ ในเชิงวิศวกรรมอย่างเป็นระบบ

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบจากการตัดขึ้นรูป และกระบวนการทางความร้อนที่มีต่อวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบาง ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยที่ผลจากการศึกษานี้คาดว่าจะสามารถอธิบายพฤติกรรมของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบาง เมื่อผ่านกระบวนการตัดขึ้นรูปและกระบวนการทางความร้อนได้

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตัดของกระบวนการตัดด้วยวิธีทางกลต่อค่า گرمไหล
- 2) ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนของกระบวนการตัดด้วยวิธีทางความร้อนต่อค่า گرمไหล

1.3 ขอบเขตการวิจัย

- 1) ดำเนินการวิจัยโดยใช้ข้อมูล ชิ้นงานและเครื่องทดสอบ ของบริษัท แมกเนคอมพิวเตอร์ชิพ เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)
- 2) หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า گرمไหลเทียบกับระยะการตัดในกระบวนการตัดขึ้นรูปทางกลด้วยระยะการตัด 2-3 มิลลิเมตร และปริมาณความร้อนในกระบวนการตัดด้วยความร้อน 5-6 วัตต์ ตามที่ใช้ในอุตสาหกรรม โดยอาศัยการทดลองและโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์

3) จำลองกระบวนการการตัดขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและกระบวนการทางความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบาง เกรด SUS 304 จำนวน 1 รูปแบบ ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์เฉพาะในกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกลและการปรับค่าด้วยเลเซอร์

4) รูปร่างของชิ้นงานที่ใช้ในการจำลองกระบวนการการตัดขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและกระบวนการทางความร้อน เป็นลักษณะของแขวนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (Suspension)

5) เหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางที่ใช้จำลองกระบวนการการตัดขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและกระบวนการทางความร้อน กำหนดให้เป็น วัสดุที่มีสมบัติเท่ากันทุกทิศทาง (Isotropic Material)

1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย

- 1) ศึกษาปรัทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษากระบวนการตัดขึ้นรูปและกระบวนการทางความร้อน ของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบาง ของบริษัท แมกเนคอมพ์ ฟริชชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)
- 3) สร้างแบบจำลองของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเกรด SUS 304 ด้วยข้อมูลที่ได้รับ ความอนุเคราะห์จากบริษัท แมกเนคอมพ์ ฟริชชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) ด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010
- 4) ทำการจำลองกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วยวิธีทางกลและกระบวนการทางความร้อนของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเกรด SUS 304 จำนวน 1 รูปแบบ
- 5) กำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ที่จะทำการศึกษาและออกแบบวิธีการทดลองทำการทดลองเก็บข้อมูล และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม
- 6) วิเคราะห์ผลการทดลองและปรับปรุงวิธีการทดลอง
- 7) สรุปผลการทดลอง
- 8) จัดทำรายงานและนำเสนอวิทยานิพนธ์
- 9) แก้ไขวิทยานิพนธ์และเผยแพร่ผลงานวิจัย

1.5 สถานที่ทำงานวิจัย

- 1) อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- 2) บริษัท แมกเนคอมพ์ ฟริชชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)

1.6 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

- 1) เครื่อง MCL SPLBackEnd ของบริษัท แมกเนคอมพ์ พรีซิชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน)
- 2) โปรแกรม SolidWorks 2010 สำหรับขึ้นรูปแบบจำลองเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบาง
- 3) โปรแกรมวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ANSYS Workbench 12.0

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตัดของกระบวนการตัดโดยวิธีทางกลต่อค่ากรัมโหลด
- 2) ได้ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนของกระบวนการตัดโดยวิธีทางความร้อนต่อค่ากรัมโหลด



บทที่ 2

ปรัทัศนัวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงความรู้โดยทั่วไปเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์ เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจเบื้องต้น จึงจำเป็นต้องศึกษาส่วนประกอบและหลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์

2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับฮาร์ดดิสก์

ฮาร์ดดิสก์ เป็นหน่วยบันทึกหรืออุปกรณ์ที่คอมพิวเตอร์ใช้เก็บข้อมูลต่างๆ ซึ่งถูกออกแบบมาให้สามารถจุข้อมูลได้มากกว่าอุปกรณ์เก็บข้อมูลชนิดอื่นๆ หลายเท่า และสามารถบันทึกหรือเรียกใช้ข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว แม้จะปิดเครื่องคอมพิวเตอร์ข้อมูลก็จะไม่สูญหายไปไหน เมื่อเปิดเครื่องก็สามารถดึงข้อมูลหรือโปรแกรมมาใช้งานได้ทันที หากเป็นข้อมูลก็สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้ จากคุณสมบัติเหล่านี้ทำให้ฮาร์ดดิสก์ถูกใช้เป็นไดรฟ์หลักในการบูต (Boot) ระบบปฏิบัติการ โปรแกรม รวมทั้งข้อมูลต่างๆ นอกจากนี้ยังมีการนำพื้นที่บางส่วนมาจำลองเป็นแรมเสมือน (Virtual Memory) ซึ่งจะช่วยให้เครื่องทำงานได้เร็วอีกด้วย



รูปที่ 2.1 ฮาร์ดดิสก์ (Harddisk)

2.2 ส่วนประกอบที่สำคัญของฮาร์ดดิสก์

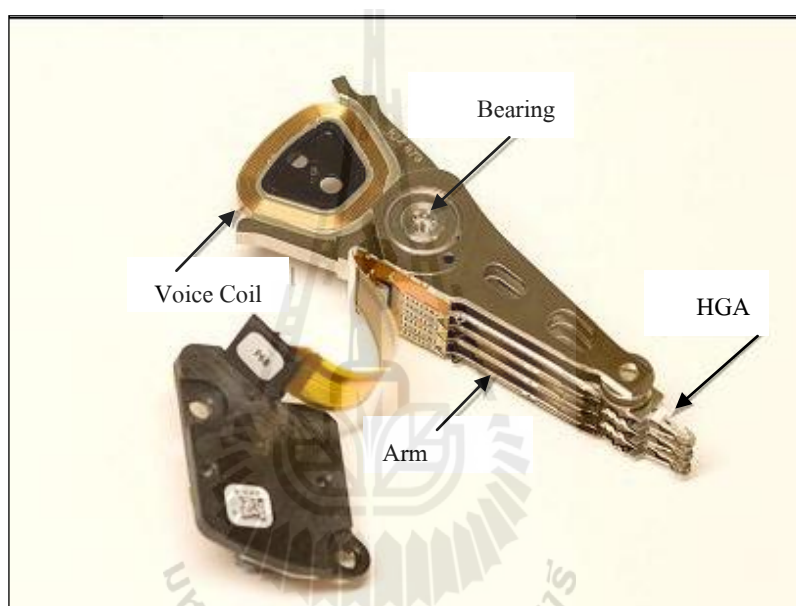
ฮาร์ดดิสก์มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ทำจากวัสดุหลายประเภท โดยภายนอกทำจากวัสดุประเภทโลหะที่มีความแข็งแรงทั้งนี้ก็เพื่อที่จะป้องกันไม่ให้ชิ้นส่วนหรือกลไกภายในได้รับความเสียหายจากการหยิบจับหรือเคลื่อนย้าย ซึ่งถ้ามองจากภายนอกแล้ว จะเห็นเพียงแผ่นโลหะเงาปิดอยู่ด้านบน ส่วนด้านล่างก็จะเป็นแผ่นวงจรควบคุมหรือแผ่น PCB



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์

2.2.1 แขนของหัวอ่าน (Actuator Arm)

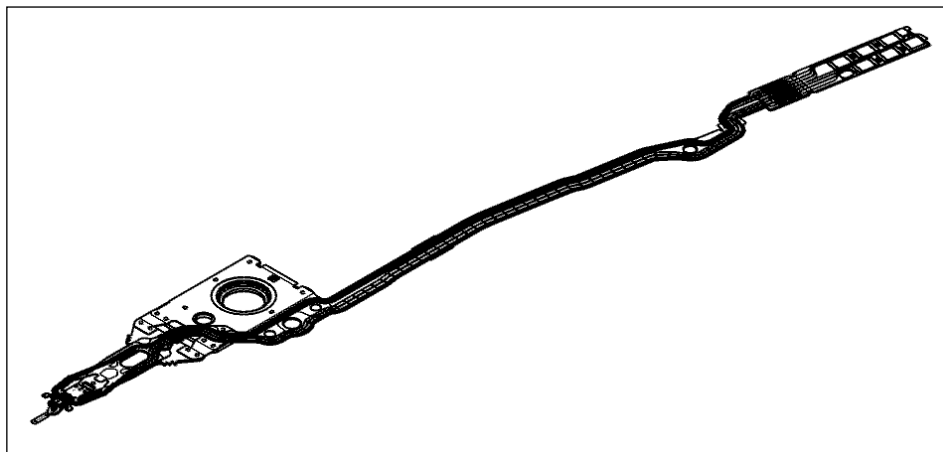
แขนของหัวอ่าน จะทำงานร่วมกับ Stepping Motor ช่วยในการหมุนแขนของหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการอ่าน/เขียนข้อมูลโดยมีตัวควบคุม (Controller) ทำหน้าที่แปลคำสั่งที่มาจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นก็เลื่อนหัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการเพื่ออ่าน/เขียนข้อมูล ในปัจจุบันมักเปลี่ยนจากการใช้ Stepping Motor ไปเป็น Voice Coil ซึ่งทำงานได้เร็วและแม่นยำกว่า Stepping Motor นอกจากนี้แล้วยังมีแขนของหัวอ่าน 2 อันต่อ 1 แผ่นดิสก์ โดยอันหนึ่งจะอยู่ด้านบน อีกอันหนึ่งจะอยู่ด้านล่าง



รูปที่ 2.3 ส่วนประกอบแขนของหัวอ่าน

2.2.2 แขนจับหัวอ่าน (Suspension)

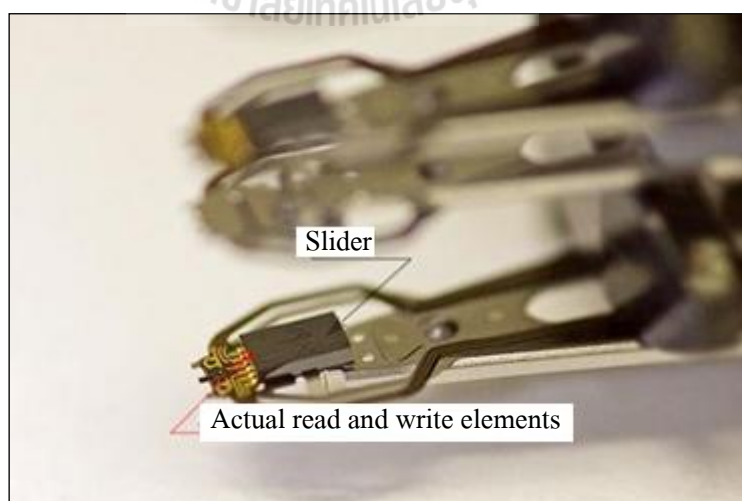
แขนจับหัวอ่าน ผลิตจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วยชิ้นส่วนสำคัญ คือ Mount Plate Load Beam Flexure และ Hinge โดยแขนจับหัวอ่าน มีหน้าที่ควบคุมให้หัวอ่าน/เขียน ให้อยู่ในระยะที่เหมาะสมเหนือแผ่นดิสก์ ในขณะที่อ่านและเขียนข้อมูล ซึ่งแขนจับหัวอ่านจะถูกนำไปติดตั้งหัวอ่าน/เขียน เพื่อนำไปประกอบเป็นชุดหัวอ่าน (Head Gimbal Assembly : HGA) ต่อไป



รูปที่ 2.4 แบบจำลองส่วนประกอบของแขนจับหัวอ่าน (Suspension)

2.2.3 หัวอ่าน/เขียน (Slider and Heads)

หัวอ่าน/เขียน เป็นส่วนที่ใช้ในการอ่าน/เขียนข้อมูลซึ่งมีขนาดเล็กและซับซ้อน โดยติดอยู่กับปลายของแขนจับหัวอ่าน (Suspension) ทำหน้าที่อ่าน/เขียนข้อมูลจากแผ่นดิสก์ โดยสามารถอ่าน/เขียนข้อมูลได้ทั้งด้านบนและด้านล่างของแผ่นดิสก์แต่ละแผ่น ซึ่งการอ่าน/เขียนข้อมูลเริ่มจากตัวควบคุมนำคำสั่งที่ได้มาแปลงเป็นแรงดันไฟฟ้า จากนั้นป้อนข้อมูลเข้าสู่ขดลวดภายในหัวอ่าน ทำให้เกิดแรงเหนี่ยวนำทางแม่เหล็ก ไปเปลี่ยนโครงสร้างของสารแม่เหล็กที่เคลือบอยู่บนผิวของแผ่นดิสก์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลขึ้น



รูปที่ 2.5 หัวอ่าน/เขียนข้อมูล

2.2.4 แผ่นดิสก์หรือจานแม่เหล็ก (Disk or Platters)

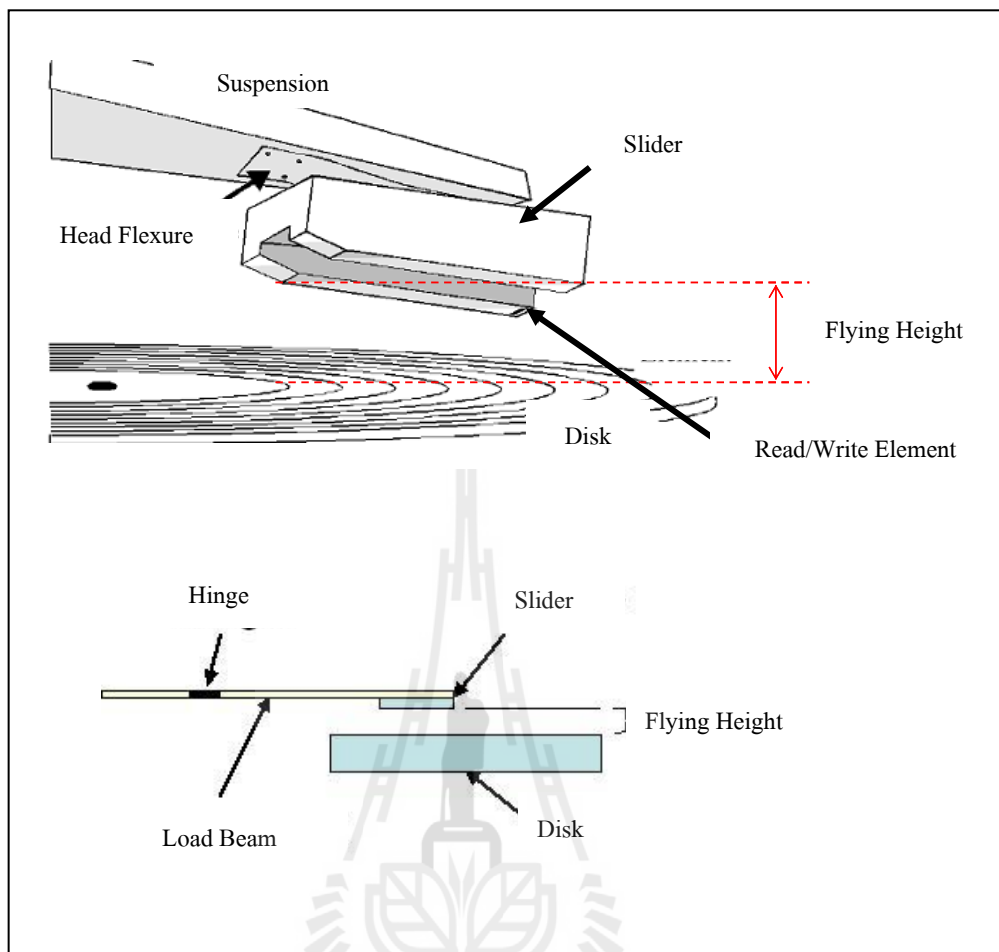
แผ่นดิสก์หรือจานแม่เหล็ก (Disk or Platters) มีลักษณะเป็นแผ่นจานกลมๆ เคลือบด้วยสารแม่เหล็กซึ่งใช้สำหรับเก็บข้อมูล โดยใช้หลักการเหนี่ยวนำของสนามแม่เหล็ก ข้อมูลที่เก็บบนแผ่นดิสก์นั้น จะอยู่ในลักษณะการจัดเรียงสปีนแม่เหล็กในทิศทางหนึ่งให้เป็น 0 และในทิศทางตรงกันข้ามให้เป็น 1 เหมือนกับข้อมูลดิจิทัลประเภทอื่นๆ ซึ่งขนาดของแผ่นดิสก์โดยทั่วไปนั้นจะมีขนาด 3.5 นิ้ว สำหรับคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะและ 2.5 นิ้ว สำหรับคอมพิวเตอร์แบบพกพา โดยในฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวจะมีจำนวนของแผ่นดิสก์ไม่เท่ากัน ซึ่งปกติแล้วฮาร์ดดิสก์แต่ละตัวจะมีแผ่นดิสก์ประมาณ 1-4 แผ่น โดยแต่ละแผ่นก็จะเก็บข้อมูลได้ทั้งสองด้าน ซึ่งยังมีจำนวนของแผ่นดิสก์มากก็จะทำให้ฮาร์ดดิสก์ตัวนั้นมีความจุมากขึ้นไปด้วย

2.2.5 มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor)

มอเตอร์หมุนจานแม่เหล็ก (Spindle Motor) เป็นมอเตอร์ที่ใช้หมุนจานแม่เหล็กซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อความเร็วในการอ่าน/เขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เพราะยิ่งมอเตอร์หมุนเร็วเท่าใด หัวอ่านก็จะเจอข้อมูลที่ต้องการเร็วขึ้นเท่านั้นซึ่งความเร็วของการหมุนมีหน่วยเป็นรอบต่อนาที (Revolutions per Minute : RPM) ฮาร์ดดิสก์รุ่นเก่าจะหมุนด้วยความเร็วเพียง 3,600 และ 5,400 รอบต่อนาที ต่อมาพัฒนาเป็น 7,200 รอบต่อนาทีและปัจจุบันหมุนได้เร็วถึง 15,000 รอบต่อนาที

2.3 หลักการทำงานของฮาร์ดดิสก์

ในตอนเริ่มต้นหัวอ่าน/เขียน จะอยู่ในตำแหน่ง Landing Zone เมื่อเริ่มทำงานจะถูกสั่งให้หมุนแกนมอเตอร์ โดยที่แผ่นดิสก์ที่ติดตั้งอยู่กับมอเตอร์ก็จะหมุนตามไปด้วย ส่งผลให้เกิดกระแสลมที่บริเวณผิวของแผ่นดิสก์ หรือที่เรียกว่า Air bearing Load ซึ่งช่วยยกให้หัวอ่านลอยสูงขึ้นจากแผ่นดิสก์ ขณะที่หัวอ่าน/เขียนทำงานจะไม่มีสัมผัสกับแผ่นดิสก์โดยตรง ในขณะเดียวกันแกนของหัวอ่านก็จะเคลื่อนที่หัวอ่าน/เขียนในลักษณะส่ายไปมา เพื่อไปยังตำแหน่งที่ต้องการ โดยที่หัวอ่าน/เขียนจะถูกติดตั้งอยู่กับแขนจับหัวอ่าน (Suspension) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมหัวอ่าน/เขียนไว้ให้อยู่ในตำแหน่งที่ลอยอยู่เหนือดิสก์ที่กำลังหมุนอยู่ด้วยความเร็วสูงในฮาร์ดดิสก์ เพื่อช่วยให้เกิดระยะความสูงจากหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ (Flying Height) ที่สม่ำเสมอ



รูปที่ 2.6 ระยะความสูงจากหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ (Flying Height)

ระยะความสูงจากหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ (Flying Height) เป็นส่วนสำคัญมาก ส่วนหนึ่งในการควบคุมประสิทธิภาพ ความเร็ว และความเชื่อถือได้ของฮาร์ดดิสก์ ในกรณีที่ต้องการเพิ่มความสามารถในการบรรจุข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ เราจำเป็นต้องลดระยะความสูงจากหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความแรงของสัญญาณในการอ่านและเขียนบันทึกข้อมูลลงบนแผ่นดิสก์ ส่วนสำคัญหนึ่งที่จะทำให้ระยะความสูงระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ถูกต้องคือการควบคุมความสูงและความยืดหยุ่นเชิงกลของแขนจับหัวอ่าน โดยกลไกการทำงานของแขนจับหัวอ่านนั้น จะยึดหัวอ่านไว้ในระยะห่างที่แม่นยำ ในระดับที่ไม่สามารถมองด้วยตาเปล่าเหนือแผ่นดิสก์ แขนจับหัวอ่านทำให้หัวอ่าน/เขียน สามารถลอยอยู่ในระยะที่น้อยกว่าหนึ่งไมโครเมตรเหนือแผ่นดิสก์ที่กำลังหมุนอย่างต่อเนื่อง ด้วยความเร็วระหว่าง 5400 ถึง 20000 รอบ/นาที โดยแขนจับหัวอ่านจะรักษาตำแหน่งของหัวอ่านให้อยู่ในระยะห่างที่สม่ำเสมอ

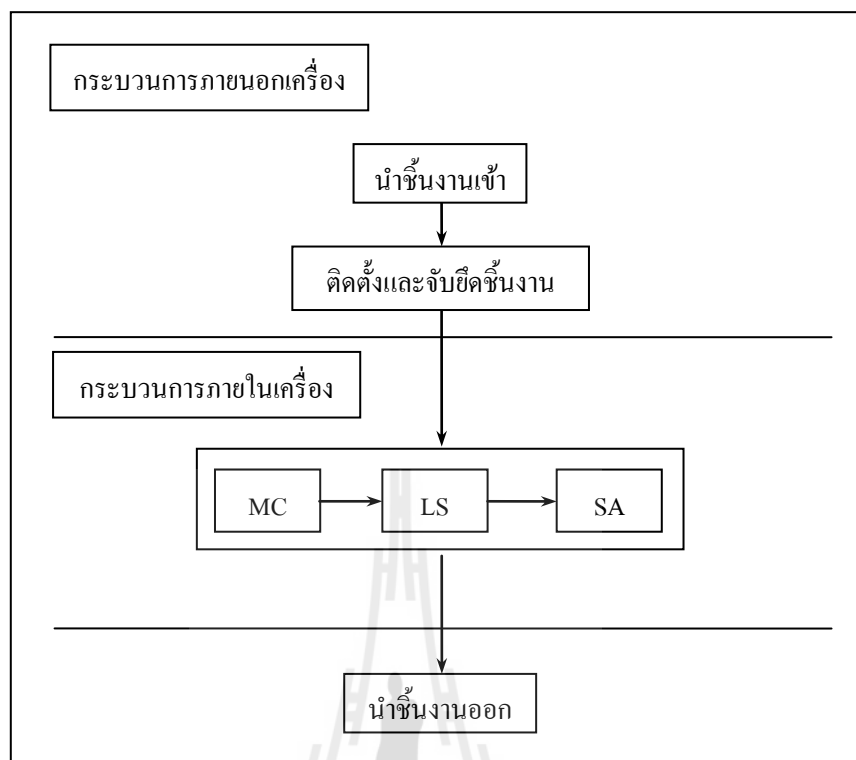
แผ่นดิสก์เพื่อไม่ให้หัวอ่าน/เขียน เสียดิสก์หรือถูเข้ากับผิวหน้าของแผ่นดิสก์ ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายกับสารที่เคลือบผิวของแผ่นดิสก์และข้อมูลได้ นอกจากนี้แขนจับหัวอ่านยังทำหน้าที่รักษาระยะความสูงจากหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ ด้วยการควบคุมและจำกัดการเคลื่อนไหวของหัวอ่าน/เขียนโดยใช้ความสมดุลของแรง 2 แรง คือ แรงยกจากด้านล่างของหัวอ่าน/เขียน ซึ่งมาจากแรงที่เกิดจากกระแสลมบริเวณผิวของแผ่นดิสก์ในขณะที่มอเตอร์หมุน กับแรงกดด้านทานจากแขนจับหัวอ่าน โดยส่งแรงในทิศทางตรงกันข้ามเพื่อรักษาระยะห่างที่ต้องการระหว่างหัวอ่าน/เขียนและแผ่นดิสก์ เพื่อการอ่านและเขียนข้อมูลอย่างถูกต้อง

2.4 ค่ากรัมโหลด (Gram Load)

ค่ากรัมโหลดเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญของการทำงานของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ ซึ่งค่ากรัมโหลดนี้มีผลกระทบต่อระยะความสูงของหัวอ่าน/เขียนเหนือแผ่นดิสก์ จากการสำรวจข้อมูลการทดสอบค่ากรัมโหลดพบว่าหัวอ่านในปัจจุบันจะมีค่ากรัมโหลดที่ดีที่สุดในช่วงค่าที่กำหนด ซึ่งมีค่าในระดับ 1.5-3.0 กรัม โดยจะขึ้นอยู่กับชนิดและรุ่นของฮาร์ดดิสก์ ซึ่งค่ากรัมโหลดที่อยู่นอกเหนือจากช่วงที่กำหนด จะทำให้การอ่านข้อมูลของหัวอ่าน/เขียน มีประสิทธิภาพลดน้อยลงและเกิดการชำรุดเสียหายได้ จึงจำเป็นต้องมีการวัดและปรับค่ากรัมโหลดของแขนจับหัวอ่านเพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด การวัดค่ากรัมโหลดนั้นเป็นการวัดค่าความแข็งตึง (Stiffness) ของชุดหัวอ่านว่าแต่ละแขนจับหัวอ่าน (Suspension) มีค่าความแข็งตึงเป็นเท่าไร โดยวัดในรูปของค่าแรงที่ใช้ในการทำให้แขนจับยึดเกิดการเสียรูปในระดับความสูงที่กำหนด

2.5 กระบวนการปรับค่ากรัมโหลด

กระบวนการปรับค่ากรัมโหลดของแขนจับหัวอ่าน (Suspension) ในอุตสาหกรรมนั้นสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่ในส่วนของงานวิจัยนี้จะนำเสนอกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดที่ใช้สำหรับเครื่อง MCL SPLBackEnd ของบริษัท แมกเนคอมพ์ ฟริชชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) เท่านั้น โดยกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยเครื่อง MCL SPLBackEnd มีกระบวนการทำงานดังนี้ แสดงในรูปที่ 2.7

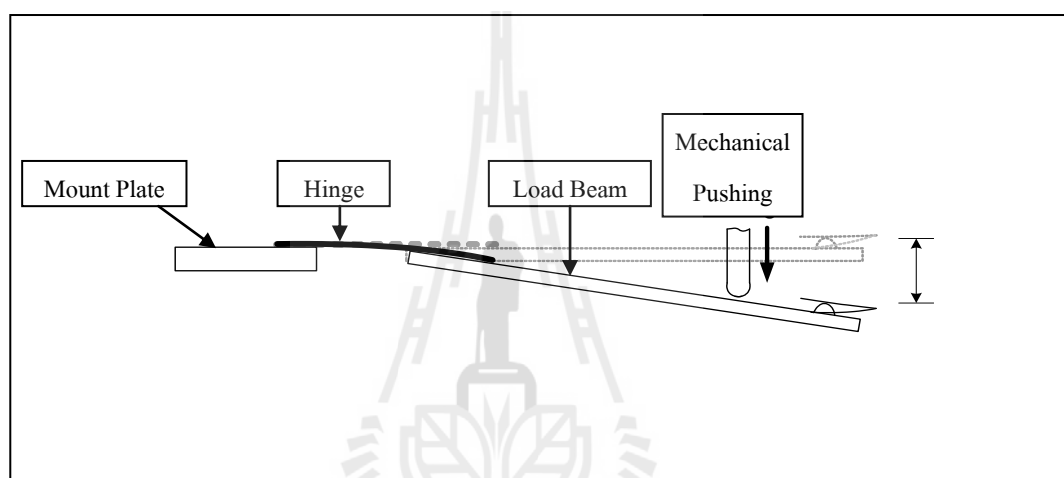


รูปที่ 2.7 แผนภาพการทำงานของเครื่อง MCL SPLBackEnd

ภายหลังจากแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ผ่านกระบวนการขึ้นรูปทางกลเบื้องต้นก็ต้องผ่านไปยังกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดโดยใช้เครื่อง MCL SPLBackEnd เพื่อที่จะให้ได้ค่ากรัมโหลดอยู่ในช่วงที่ดีที่สุด ซึ่งก่อนนำเข้าเครื่องนั้นเป็นการติดตั้งชิ้นส่วนแขนจับหัวอ่านเข้ากับชุดจับยึดแล้วจึงนำเข้าเครื่อง MCL SPLBackEnd ซึ่งจะเริ่มจากการวัดค่ากรัมโหลดและปรับค่าด้วยการตัดเพิ่มเติม เรียกขั้นตอนนี้ว่าการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล (Mechanical Adjustment : MC) หลังจากนั้นเป็นการปรับค่ากรัมโหลดด้วยการฉายเลเซอร์ (Laser Adjustment : LS) และกระบวนการปรับมุมปลายแขน (Static Attitude Adjustment : SA) เป็นกระบวนการสุดท้าย ซึ่งในกระบวนการปรับมุมของปลายแขน ไม่ส่งผลทำให้ค่ากรัมโหลดมีการเปลี่ยนแปลงไป

2.5.1 กระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล (Mechanical Adjustment : MC)

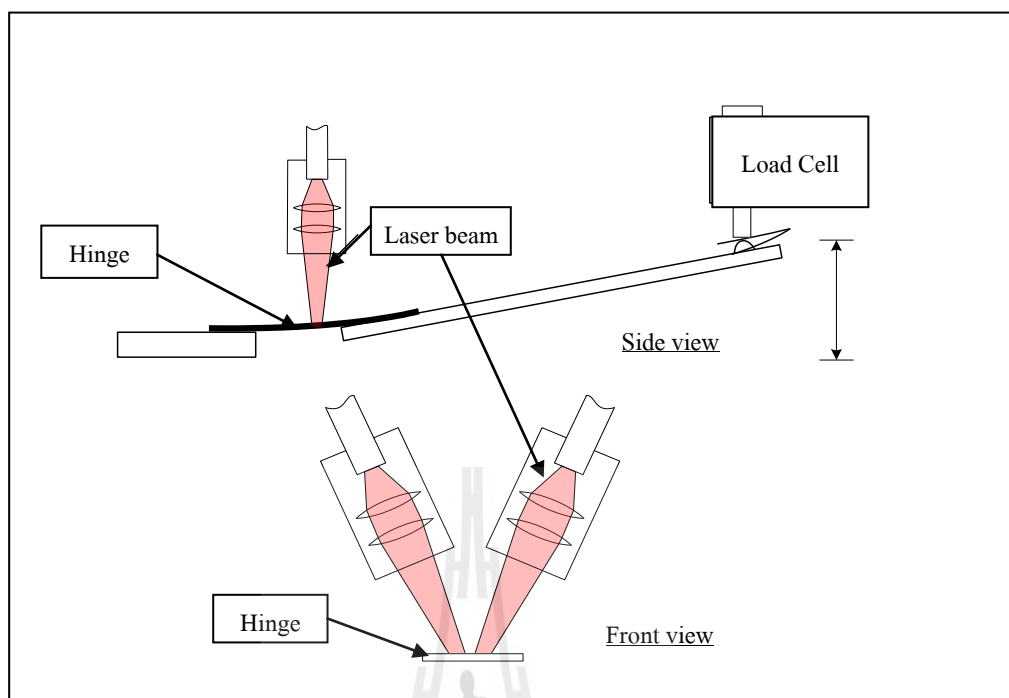
กระบวนการปรับค่าทางกล กระทำโดยใช้แท่งเหล็ก (Mechanical Pushing) ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เคลื่อนที่กดขึ้นส่วนที่เรียกว่า Load Beam ไปตามระยะที่กำหนดเพื่อให้เกิดการเสียรูปถาวร (Plastic Deformation) ขึ้นกับ Hinge โดยที่ Base Plate จะถูกยึดติดชุดจับยึด ไม่ให้มีการเคลื่อนที่ทั้งในขณะวัดและปรับค่ากรัมโหลด ซึ่งกระบวนการนี้จะเป็นการปรับค่ากรัมโหลดแบบหยาบ จำเป็นต้องมีการปรับค่ากรัมโหลดอย่างละเอียดอีกครั้งในกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยเลเซอร์



รูปที่ 2.8 กระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล

2.5.2 กระบวนการปรับค่าด้วยเลเซอร์ (Laser Adjustment : LS)

กระบวนการปรับค่าด้วยเลเซอร์ จะทำการปรับค่าภายหลังจากผ่านกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล ซึ่งชิ้นส่วนแขนจับหัวอ่านจำเป็นต้องผ่านกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยเลเซอร์อีกครั้ง เพื่อทำการปรับค่ากรัมโหลดโดยละเอียด โดยทำการฉายเลเซอร์ที่มีค่าพลังงานเหมาะสมด้วยระยะเวลาที่กำหนดลงบริเวณผิวของ Hinge พร้อมกับวัดค่ากรัมโหลด ซึ่งหมายความว่า ชิ้นงานรับแรงกระทำระหว่างการฉายเลเซอร์เพื่อให้ได้ค่ากรัมโหลดและตำแหน่งตามที่ต้องการ แสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยเลเซอร์

2.5.3 กระบวนการปรับมุมปลายแขน (Static Attitude Adjustment : SA)

กระบวนการปรับมุมปลายแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ กระทำภายหลังที่แขนจับหัวอ่านผ่านกระบวนการปรับค่าทางกลและการปรับค่าด้วยเลเซอร์ โดยใช้เลเซอร์ในการปรับค่ามุมโรลล์ (Roll) มุมพิทช์ (Pitch) เฉพาะบริเวณส่วนปลายของแขนจับหัวอ่านเท่านั้น ซึ่งกระบวนการปรับมุมปลายแขนนี้ ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากรัมโหลดของแขนจับหัวอ่าน

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Singh, Wu, Brown, and Kozlovsky (2000) ได้ทำการศึกษาการปรับค่ากรัมโหลดของแขนจับหัวอ่านที่ประกอบเป็นชิ้นส่วน Head Stack Assembly (HSA) ภายหลังการผลิต โดยใช้วิธีการฉายเลเซอร์เข้าไปตรงบริเวณ Hinge ของแขนจับหัวอ่าน ซึ่งวิธีดังกล่าวสามารถปรับค่ากรัมโหลดให้มากขึ้นหรือลดลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Pulse Length สูงสุดและกำลังเฉลี่ยของเลเซอร์ที่ใช้ โดยที่กระบวนการนี้จะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะค่ากรัมโหลด แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติอื่นๆ ของแขนจับหัวอ่าน

Singh, Wu, Brown, and Kozlovsky (2001) ได้ทำการศึกษาวิธีการแก้ไขและควบคุมตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงของระยะความสูงระหว่างหัวอ่าน/เขียนกับแผ่นดิสก์ และหาค่าความสูงที่เหมาะสมเพื่อให้การอ่านและเขียนข้อมูลมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยใช้วิธีการปรับค่ากรัมโฮลด์ด้วยเลเซอร์ ซึ่งทำการยิงเลเซอร์ที่มีความเข้มสูงเพื่อเพิ่มหรือลดค่ากรัมโฮลด์ของแขนจับหัวอ่านเพื่อให้ระยะความสูงระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยวิธีการนี้สามารถทำการปรับค่ากรัมโฮลด์และระยะความสูงระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์ได้โดยหลีกเลี่ยงการสัมผัสระหว่างหัวอ่านกับแผ่นดิสก์

ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ (2551) ได้ทำการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับมุลอยตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ โดยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดขนาดของเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาค่ามุลอยตัว ที่กำหนดค่ากรัมโฮลด์ของแขนจับหัวอ่านแตกต่างกัน พบว่า เอลิเมนต์ที่มีขนาดเท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร ให้ผลของมุลอยตัวที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการวัดแล้วมีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการทดลองโดยคลาดเคลื่อนไป 1–2 องศา

Patangtalo, Aimmanee, and Chutima (2009) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเสีรูปบริเวณปลายแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ เนื่องจากผลของความร้อนจากเลเซอร์ในการปรับค่ามุมปลายแขน Pitch Static Attitude (PSA) และ Roll Static Attitude (RSA) ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยได้ทำการหาอุณหภูมิที่เกิดขึ้นและการกระจายตัวของอุณหภูมิขณะให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนด ซึ่งใช้สมการที่ได้จากการประมาณค่าฟังก์ชันความร้อนจากเลเซอร์ด้วย Gaussian distribution ในการวิเคราะห์

ขจรศักดิ์ ใจดี สุรเชษฐ์ ชุตินา และ ทศนพ กำเนิดทอง (2553) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของชิ้นส่วน HGA หลังถูกจับยึดด้วยชิ้นส่วนหัวอ่าน ภายในกระบวนการประกอบ HSA โดยทำการปรับเปลี่ยนขนาดของหัวอ่าน จากตัวแปรในการเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Spreader Pins ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และพิจารณาถึงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่ากรัมโฮลด์ พบว่าการจับยึด HGA ด้วยชิ้นส่วนหัวอ่านที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางของ Spreader Pins ไม่เกิน 1.29 มิลลิเมตร จะไม่ทำให้เกิดการเสีรูปถาวรและไม่ส่งผลทำให้ค่ากรัมโฮลด์เปลี่ยนแปลง

สุรเชษฐ์ ชุตินา ทศนพ กำเนิดทอง จักรพันธ์ ปริรักษ์วิจิตร และ ขจรศักดิ์ ใจดี (2553) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเสีรูปของ HGA หลังจากการให้แรงจับยึดในลักษณะที่แตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์และนำผลที่ได้มาปรับปรุงขนาดของแรงและลักษณะการจับยึด พบว่า ชุดจับยึดที่มีด้านบนเป็นแบบสี่เหลี่ยมและด้านล่างเป็นแบบไม่ลบมุม จะส่งผลต่อการเสีรูปของ HGA น้อยที่สุดและเกิดการเสีรูปตามขวางที่สม่ำเสมอ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

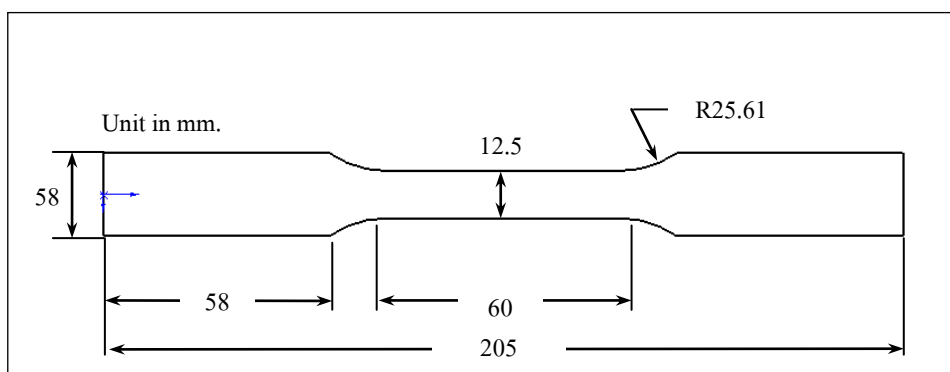
สำหรับงานวิจัยนี้ ได้ทำการวิจัยโดยการสร้างแบบจำลองของเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเกรด SUS 304 ให้มีลักษณะเป็นแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ (Suspension) ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบหลัก 3 ชิ้น คือ Load Beam Mount Plate และ Hinge โดยทำการวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงของค่ากรัมโหลด หลังผ่านกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล (Mechanical Adjustment : MC) และกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดด้วยเลเซอร์ (Laser Adjustment : LS) โดยในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการทดสอบเพื่อหาค่าคุณสมบัติวัสดุ (Material Properties) การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition) ขนาดเอลิเมนต์ที่ใช้ การวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 และการคำนวณค่ากรัมโหลดที่เปลี่ยนไปหลังการกระบวนการปรับค่ากรัมโหลด

3.1 การทดสอบคุณสมบัติวัสดุ

ในการจำลองกระบวนการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลด สำหรับการวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยโปรแกรมนั้น มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทราบคุณสมบัติวัสดุเพื่อนำไประบุค่าให้กับโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผล เพราะฉะนั้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมจึงต้องทำการทดสอบวัสดุก่อนที่จะนำค่ามาใช้ในการวิเคราะห์ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ค่าที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่าใกล้เคียงกับผลการทดสอบจริงมากที่สุด

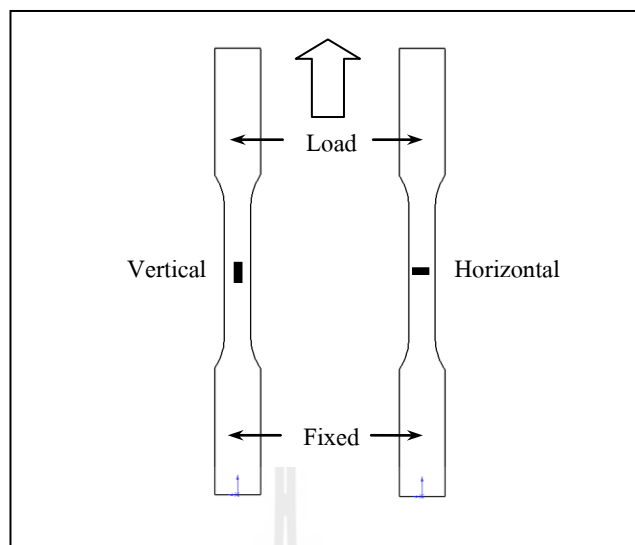
3.1.1 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

ในการทดสอบชิ้นงานเพื่อหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้อง มีมาตรฐานในการทดสอบ เพื่อให้แน่ใจได้ว่าผลที่ได้จากการทดสอบวัสดุนั้น เป็นไปตามเงื่อนไขของการทดสอบวัสดุนั้นๆ โดยทำการกัดขึ้นรูปชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางด้วยวิธีการทางเคมีให้มีรูปร่างลักษณะดังรูปที่ 3.1 ตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึงของโลหะที่อุณหภูมิห้อง ASTM E8 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ครอบคลุมการทดสอบแรงดึง สำหรับหาค่ามอดูลัสของความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) หรือ มอดูลัสยัง (Young's Modulus) ความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่จุดคราก (Yield Strength) จุดคราก (Yield Point) ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Tensile Strength)



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM E8

เตรียมชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเกรด SUS 304 มีความหนา 25 ไมโครเมตร ถูกขึ้นรูปใน 2 ทิศทาง คือ ทิศทางตามแนวรีด (Rolling Direction) และทิศทางขวางแนวรีด (Transverse Direction) จากนั้นติดตั้ง เกจวัดความเครียด (Strain gauge) ชนิด KFG-5-120C1-11L1M2R ยี่ห้อ KYOWA ที่มีความยาวเกจตั้งต้น (Gage length) เท่ากับ 5 มิลลิเมตร เพื่อทำการทดสอบหาค่าอัตราส่วนปัวซอง (Poisson's Ratio) ตามมาตรฐานทดสอบหาค่าอัตราส่วนปัวซองที่อุณหภูมิห้อง ASTM E132 โดยติดเกจวัดความเครียดบนชิ้นงานทดสอบใน 2 ทิศทางคือ ตามแนวตั้ง (Vertical) และแนวขวางกับชิ้นงาน (Horizontal) ดังรูปที่ 3.2 หลังจากนั้นทิ้งชิ้นงานทดสอบไว้ก่อนที่จะนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบเป็นเวลา 1 วัน เพื่อให้กาที่ใช้ติดชิ้นงานทดสอบแห้งสนิท



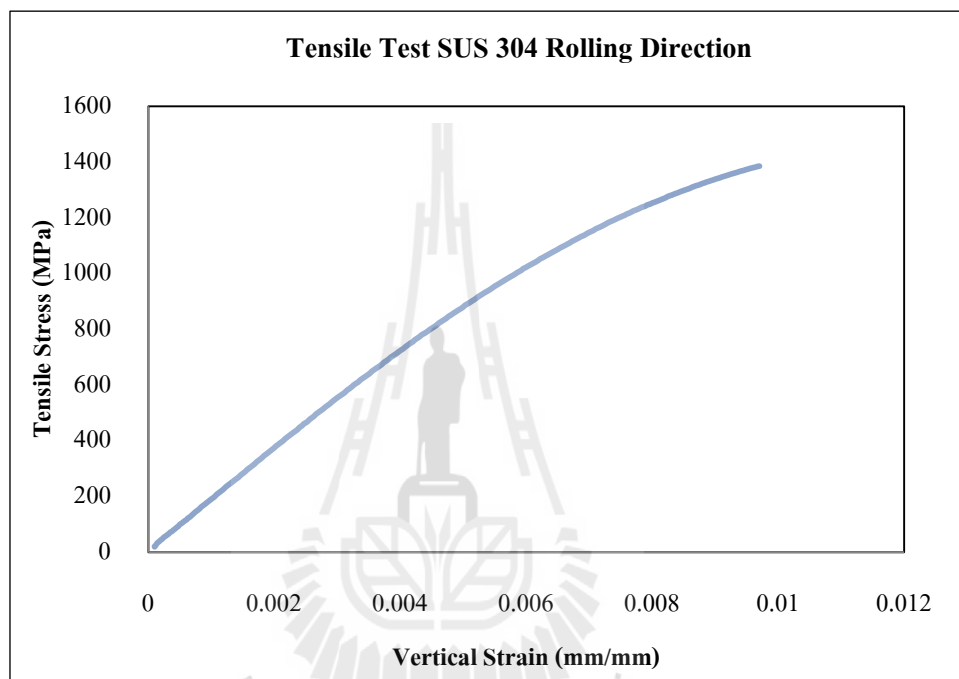
รูปที่ 3.2 การติดตั้งเกจวัดความเครียดบนชิ้นงานทดสอบ

3.1.2 การทดสอบชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง

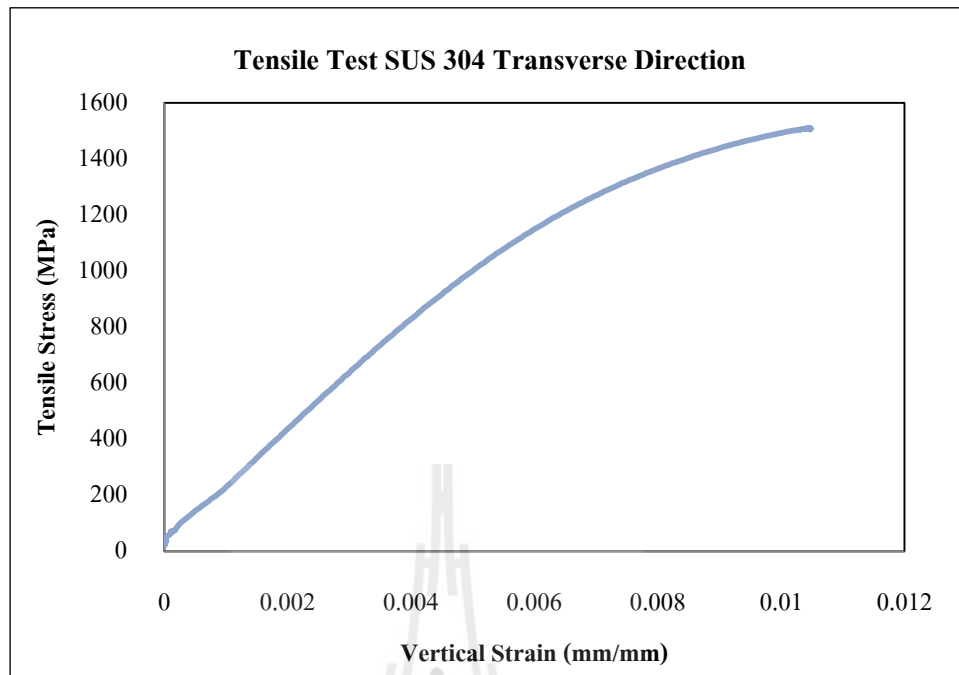
หลังจากที่เตรียมชิ้นงานทดสอบเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเกรด SUS 304 ความหนา 25 ไมโครเมตร ให้ได้รูปร่างและขนาดตามมาตรฐานการทดสอบแรงดึง ASTM E8 และติดตั้งเกจวัดความเครียดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E132 เพื่อหาอัตราส่วนปัวซอง เป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำชิ้นงานทดสอบติดตั้งกับชุดจับยึดของเครื่องทดสอบแรงดึง (Universal Testing Machine : UTM) ที่มีหัววัดแรงขนาดสูงสุด 5 กิโลนิวตัน ยี่ห้อ INSTRON รุ่น 5965 โดยใช้ความเร็วในการดึงชิ้นงานทดสอบ (Cross Head Speed) 0.5 มิลลิเมตรต่อวินาที และนำสายสัญญาณของเกจวัดความเครียดต่อเข้ากับอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับอ่านค่าเกจวัดความเครียดที่เรียกว่า Data Acquisition Unit ยี่ห้อ YOKOGAWA รุ่น MW100 เพื่อใช้สำหรับบันทึกค่าความเครียดที่อ่านได้จากเกจวัดความเครียดขณะที่ทำการดึงชิ้นงานทดสอบ จากนั้นดึงชิ้นงานทดสอบไปเรื่อยๆจนกระทั่งชิ้นงานขาดออกจากกัน ทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของความเค้นและความเครียดทุกๆ 0.5 วินาที ผลที่ได้จากทดสอบแรงดึงแสดงในรูปที่ 3.3-3.4 และคำนวณค่ามอดูลัสยังและอัตราส่วนปัวซอง ตามสมการที่ 3.1 และ 3.2 โดยกำหนดช่วงข้อมูลที่นำมาใช้หาค่าทั้งสองคือค่าความเค้นและความเครียดในช่วงที่ความเค้นอยู่ระหว่าง 300-500 MPa ซึ่งอยู่ในช่วงการเสียรูปแบบยืดหยุ่น แสดงในรูปที่ 3.5-3.8

$$E_{ij} = \frac{d(\text{stress})}{d(\text{strain})} \quad ; \quad \text{Young's Modulus} \quad (3.1)$$

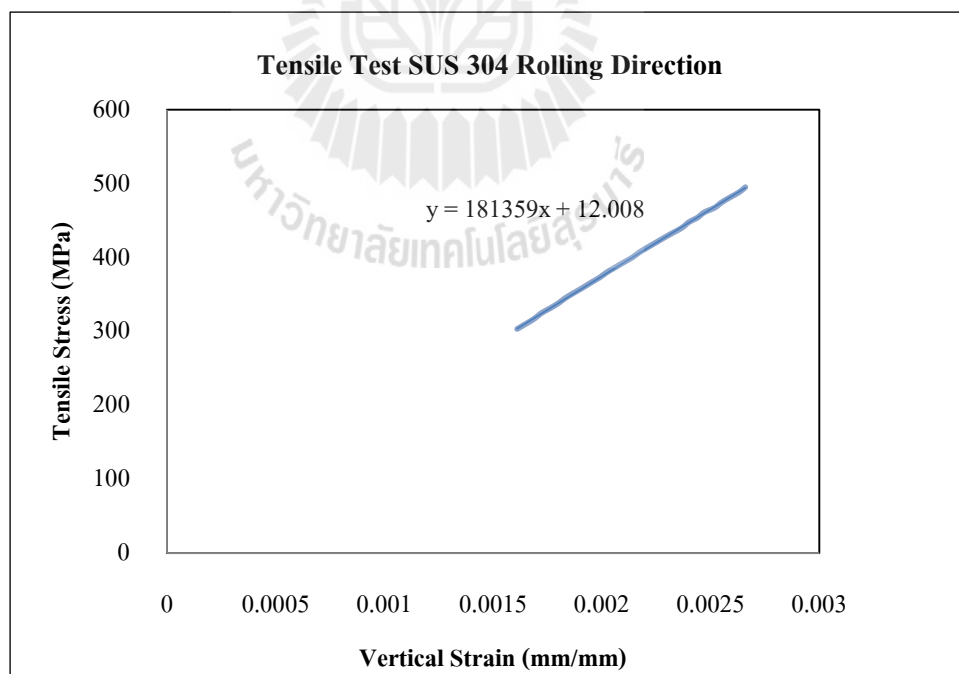
$$\nu_{ij} = \frac{d\varepsilon_{\text{horizontal}} / dF}{d\varepsilon_{\text{vertical}} / dF} \quad ; \quad \text{Poisson's Ratio} \quad (3.2)$$



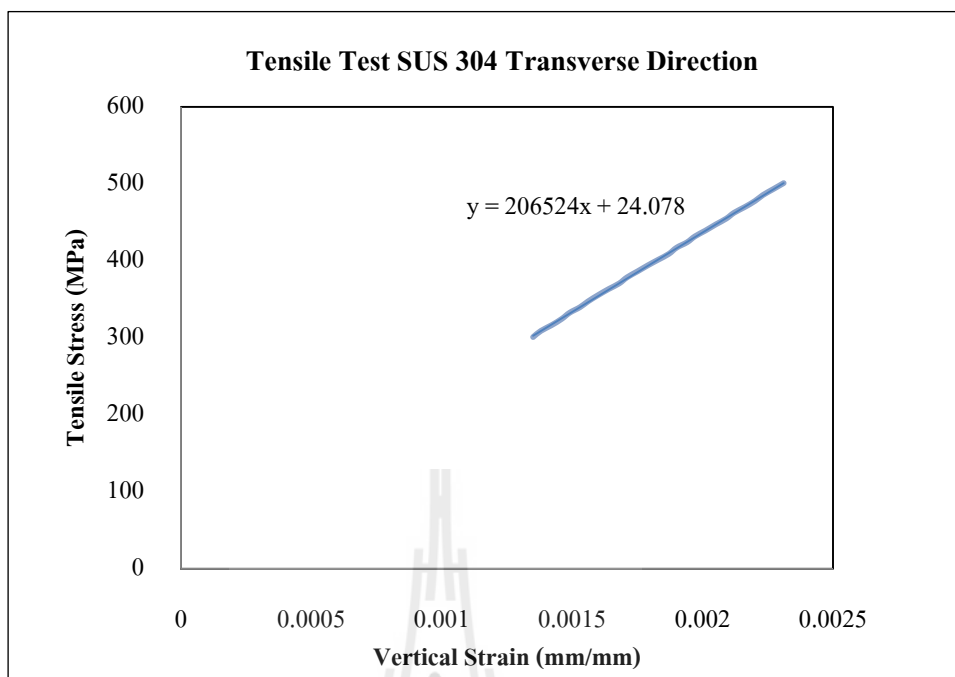
รูปที่ 3.3 ค่าความเค้นกับความเครียดของชิ้นงานทิศทางตามแนวรีด



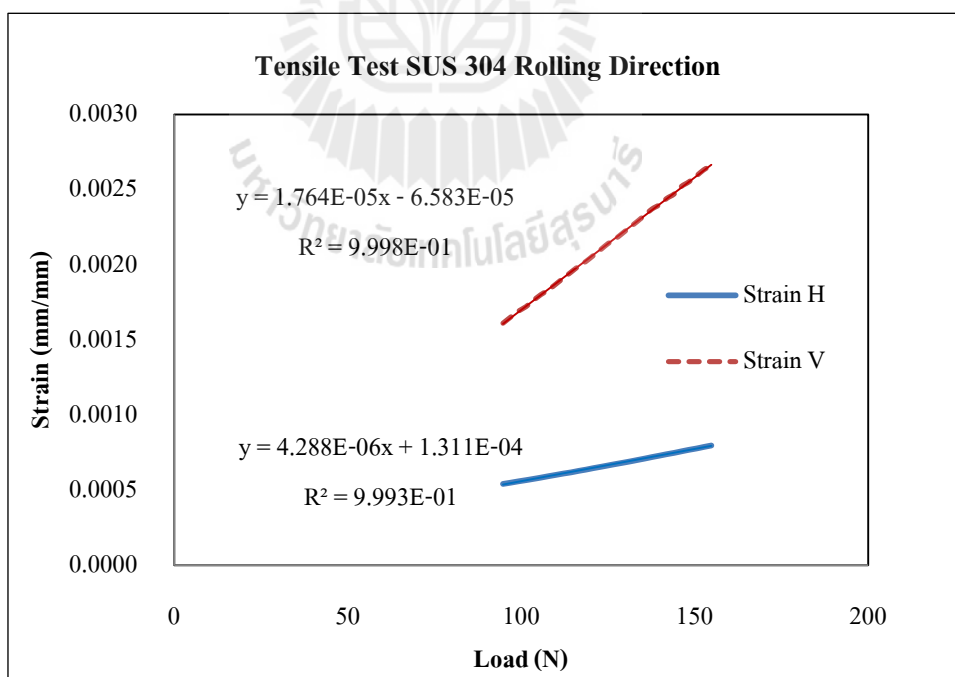
รูปที่ 3.4 ค่าความเค้นกับความเครียดของชิ้นงานทิศทางขวางแนวรีด



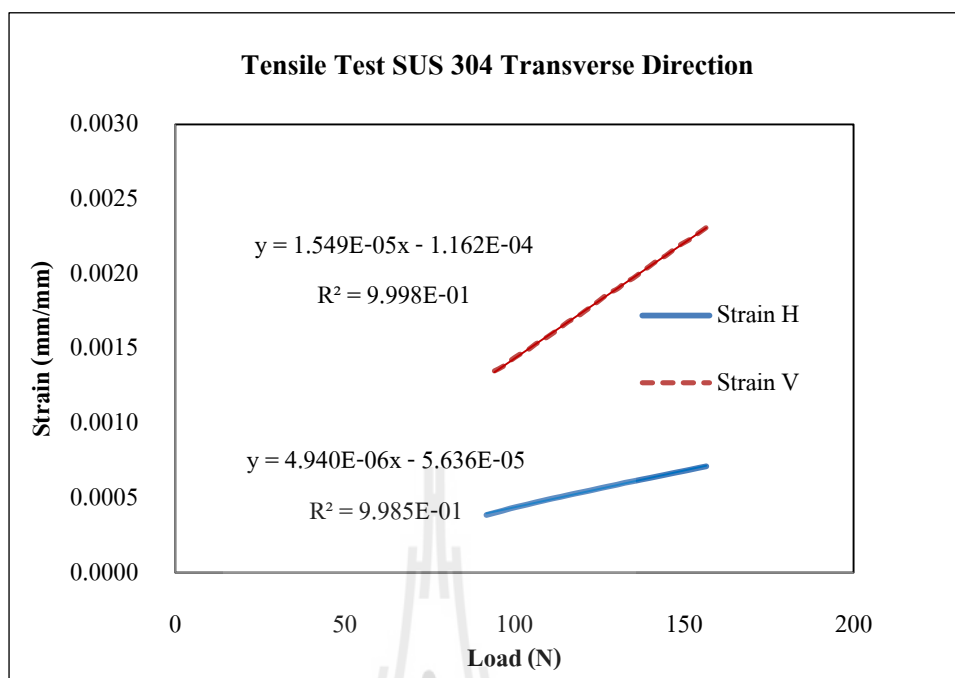
รูปที่ 3.5 ค่าความเค้นที่ 300-500 MPa กับความเครียดของชิ้นงานทิศทางตามแนวรีด



รูปที่ 3.6 ค่าความเค้นที่ 300-500 MPa กับความเครียดของชิ้นงานทิศทางขวางแนวรีด



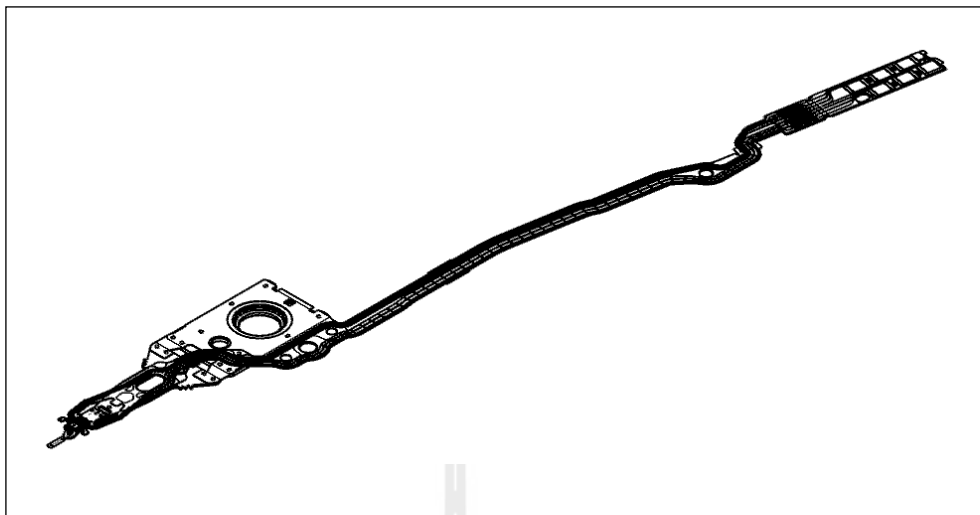
รูปที่ 3.7 ค่าความเครียดกับแรงดึงของชิ้นงานทิศทางตามแนวรีด



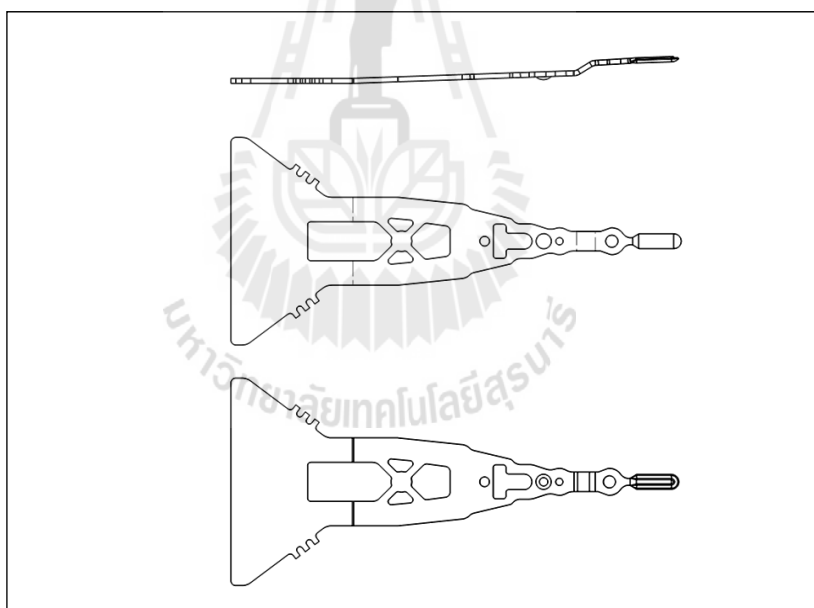
รูปที่ 3.8 ค่าความเครียดกับแรงดึงของชิ้นงานทิศทางขวางแนวรีด

3.2 การกำหนดเงื่อนไขเพื่อการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

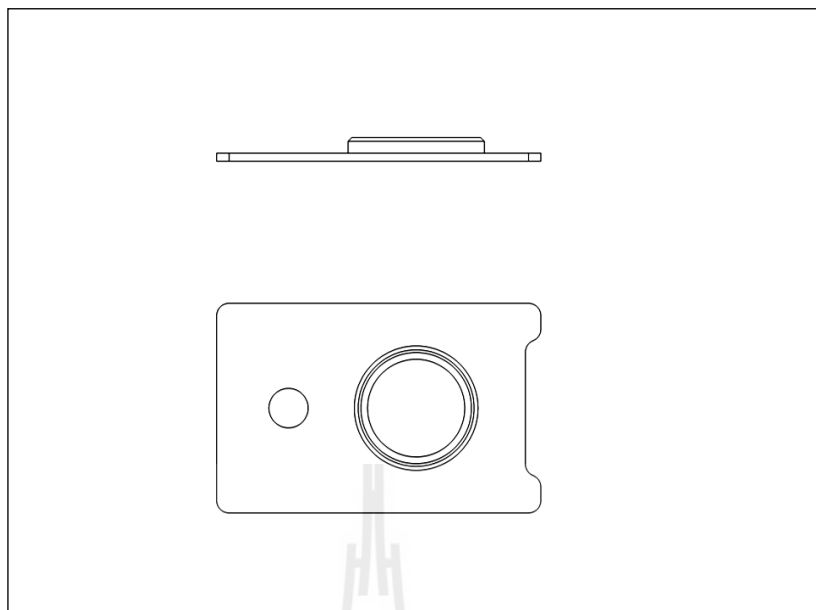
ทำการสร้างแบบจำลองชิ้นงานเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 โดยสร้างตามแบบจำลองของแขนจับหัวอ่าน (Suspension) ที่ได้รับจากบริษัท แมกเนคอมพ์ พรีซิชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) โดยมีส่วนประกอบดังนี้ Load Beam Mount Plate Hinge และ Flexure เพื่อใช้เป็นต้นแบบในการสร้างแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.9 แต่ในแบบจำลองที่ได้ นำมาวิเคราะห์จะไม่พิจารณาในส่วนของ Flexure เนื่องจากส่วนที่เป็น Flexure จะประกอบด้วย ชิ้นส่วนที่ทำมาจากวัสดุหลายชนิดซ้อนกันหลายชั้น จึงทำให้ยากที่จะนำมาทดสอบเพื่อหา คุณสมบัติของวัสดุทั้งหมด ดังนั้นจะเลือกพิจารณาเพียง 3 ชิ้นส่วน คือ Load Beam Mount Plate และ Hinge ซึ่งผลิตจากวัสดุชนิดเดียวกัน คือเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเกรด SUS 304 ทั้งหมด แสดงในรูปที่ 3.10-3.13



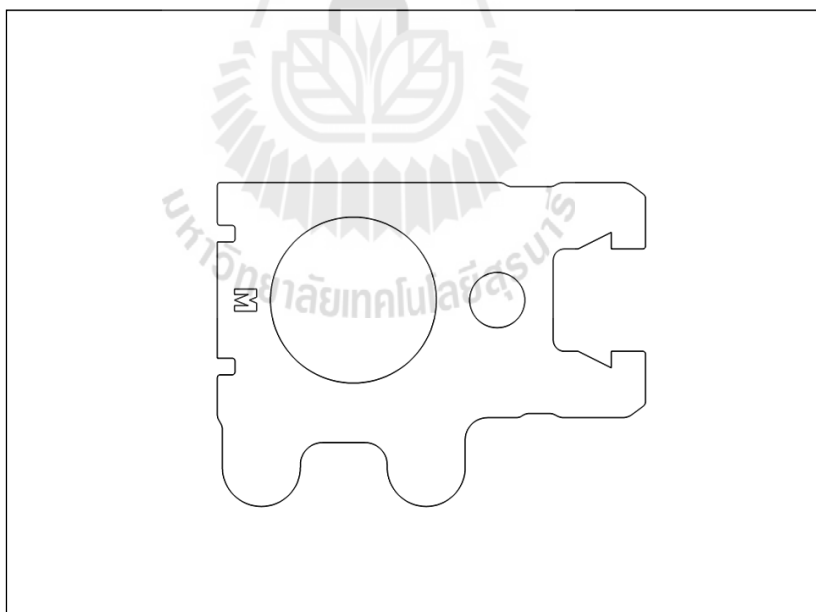
รูปที่ 3.9 แบบจำลองของแขนจับหัวอ่าน (Suspension)



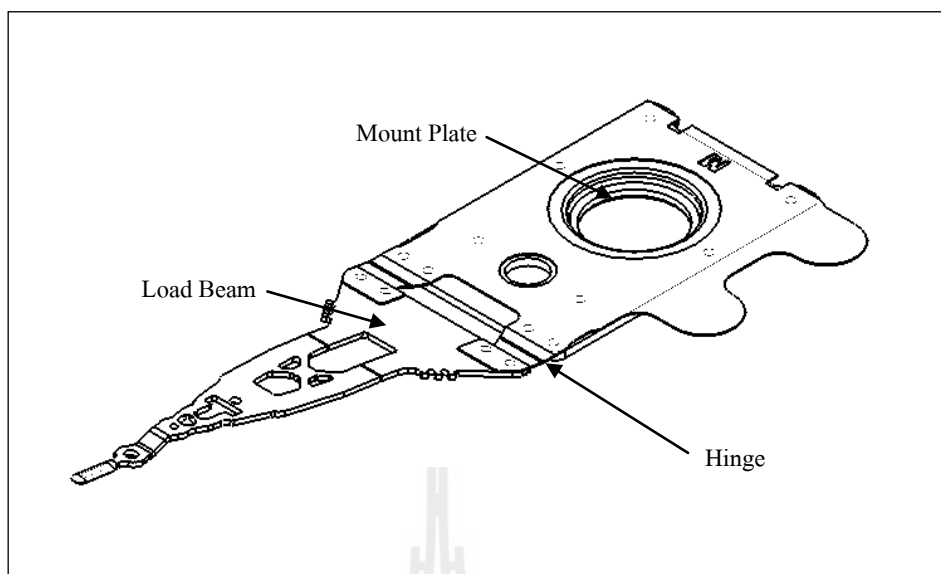
รูปที่ 3.10 Drawing แบบจำลองของ Load Beam



รูปที่ 3.11 Drawing แบบจำลองของ Mount Plate

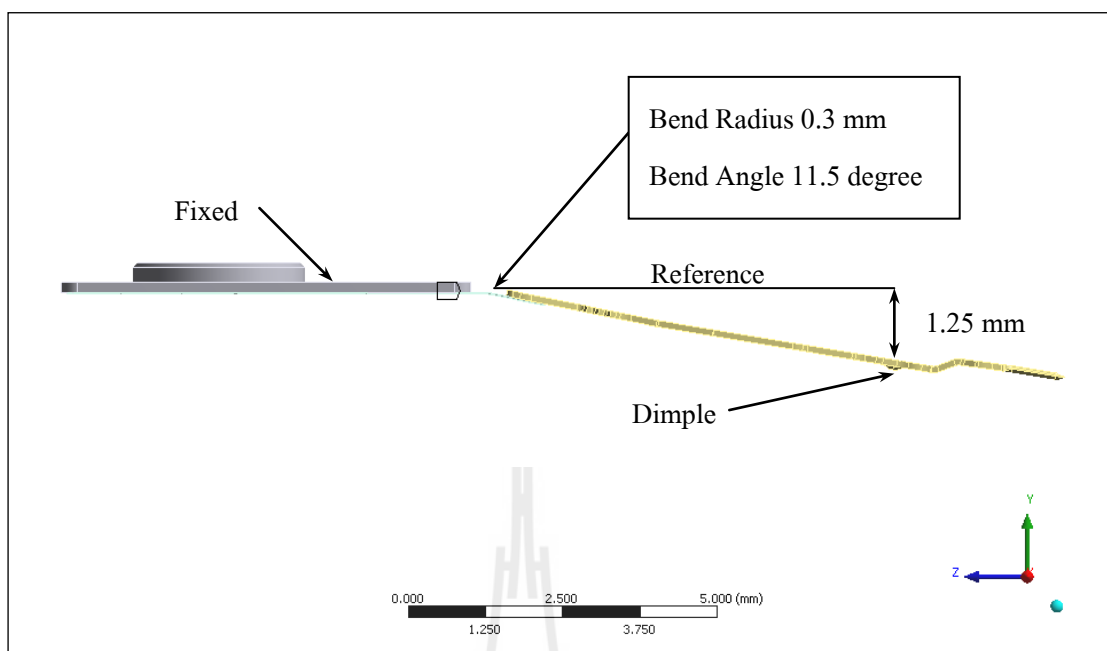


รูปที่ 3.12 Drawing แบบจำลองของ Hinge



รูปที่ 3.13 แบบจำลองของแขนจับหัวอ่านที่ใช้

หลังจากสร้างแบบจำลองแขนจับหัวอ่านเรียบร้อยแล้ว ทำการกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นโดยอ้างอิงจากข้อมูลและแบบชิ้นงานที่ได้จากทางสถานประกอบการ กำหนดมุมคดเริ่มต้นของชิ้นงาน (Bend Angle) เท่ากับ 11.5 องศา รัศมีการคด (Bend Radius) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 จะสามารถคำนวณหาตำแหน่งความสูงของ Dimple ในแนวแกน +Y ได้เท่ากับ 1.25 มิลลิเมตร โดยอ้างอิงจาก Mount Plate โดยตำแหน่ง Dimple คือ บริเวณที่หัววัดแรงจะเคลื่อนที่มากที่สุด เพื่อทำการวัดค่ากรัมโหลดที่ระยะอ้างอิง ในขณะที่จับยึดชิ้นส่วน Mount Plate ไม่ให้มีการเคลื่อนที่ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 แสดงระบะอ้างอิงที่ใช้ในการจำลองการวัดค่ากรัมโหลด

3.3 การกำหนดคุณสมบัติวัสดุ

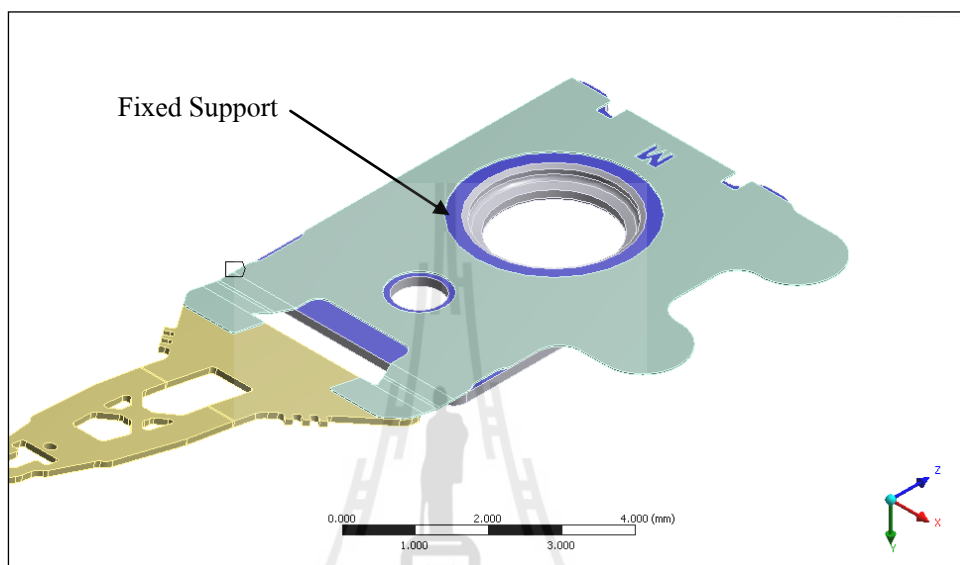
แบบจำลองของแขนจับหัวอ่าน ประกอบด้วยชิ้นส่วนหลัก 3 ส่วน คือ Load Beam Mount Plate และ Hinge ผลิตจากวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิมแผ่นบางเกรด SUS 304 ชนิดเดียวกันซึ่งจะใช้ค่าคุณสมบัติต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 3.1 สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 แสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติเชิงกลของ SUS 304

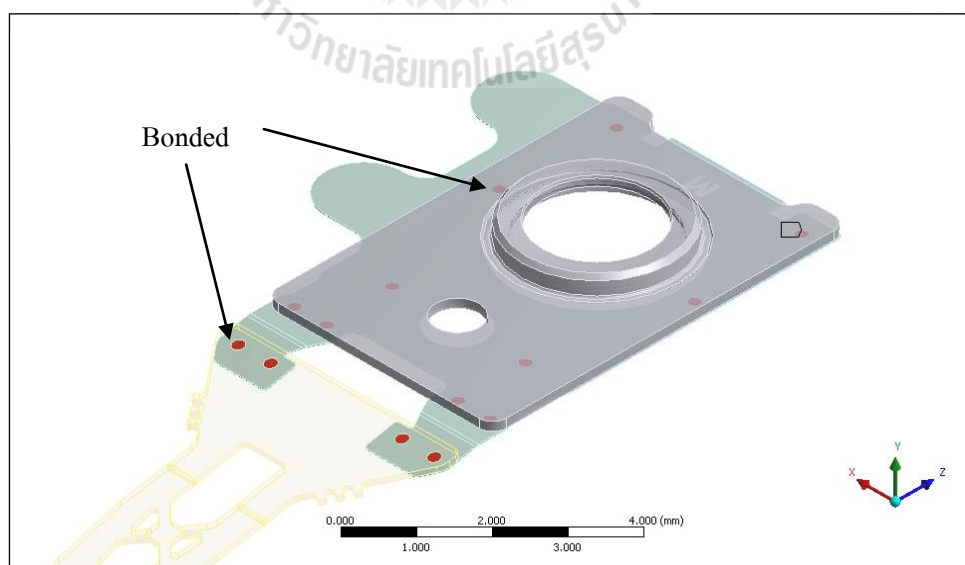
Properties	Isotropic	Unit
Density	$8.07(10^6)$	kg/mm^3
Young's Modulus	$2.07(10^5)$	MPa
(Poisson's ratio)	0.32	-
Thermal expansion	$1.36(10^5)$	$^{\circ}\text{C}^{-1}$
Yield Strength	1200	MPa
Tangent Modulus	3000	MPa

3.4 การกำหนดเงื่อนไขการจับยึดชิ้นงาน

การกำหนดเงื่อนไขการจับยึดชิ้นงานจะกำหนดให้ชิ้นส่วน Mount Plate ไม่ให้มีการเคลื่อนที่ (Fixed Support) ทั้งในขณะการตัดและการคำนวณค่ากรัมโหลด แสดงในรูปที่ 3.15 และกำหนดตำแหน่งเชื่อมต่อให้ทั้ง 3 ชิ้นส่วน เป็นแบบยึดแน่น (Bonded) แสดงในรูปที่ 3.16



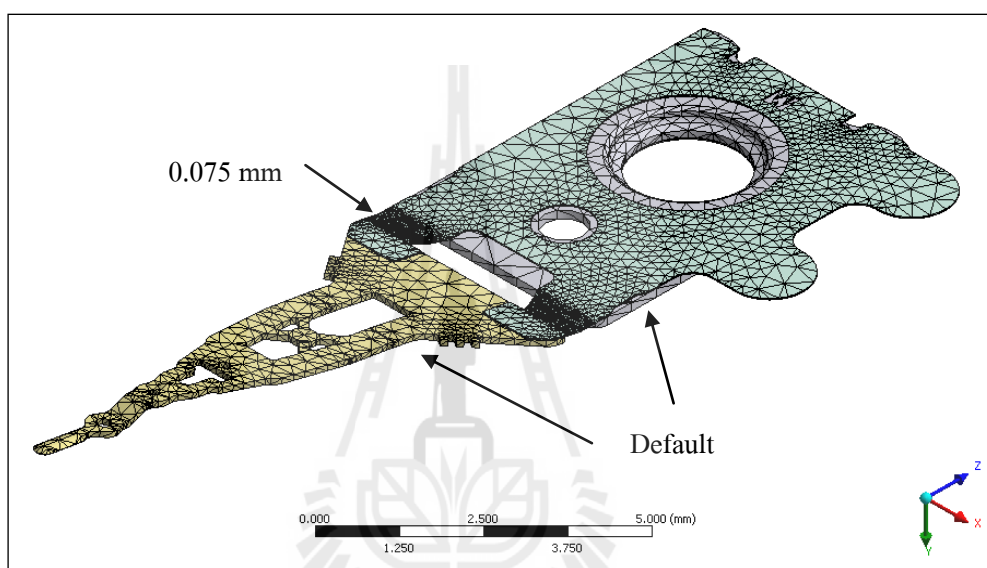
รูปที่ 3.15 ตำแหน่งจับยึดชิ้นงาน



รูปที่ 3.16 ตำแหน่งเชื่อมต่อแบบยึดแน่นของชิ้นงาน

3.5 การกำหนดขนาดของเอลิเมนต์

กำหนดเอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมโดยให้บริเวณข้อพับของ Hinge ที่มีการเสียรูปมากที่สุดให้มีความละเอียดเท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดของเอลิเมนต์กำหนดตามงานวิจัยของ ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ (2551) โดยจะให้ความถูกต้องของข้อมูลมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับเอลิเมนต์ขนาด 0.080 0.085 0.090 มิลลิเมตร ส่วนบริเวณอื่นของแบบจำลอง กำหนดขนาดของเอลิเมนต์ตามค่ามาตรฐานของโปรแกรมเพื่อความรวดเร็วในการวิเคราะห์ แสดงในรูปที่ 3.17



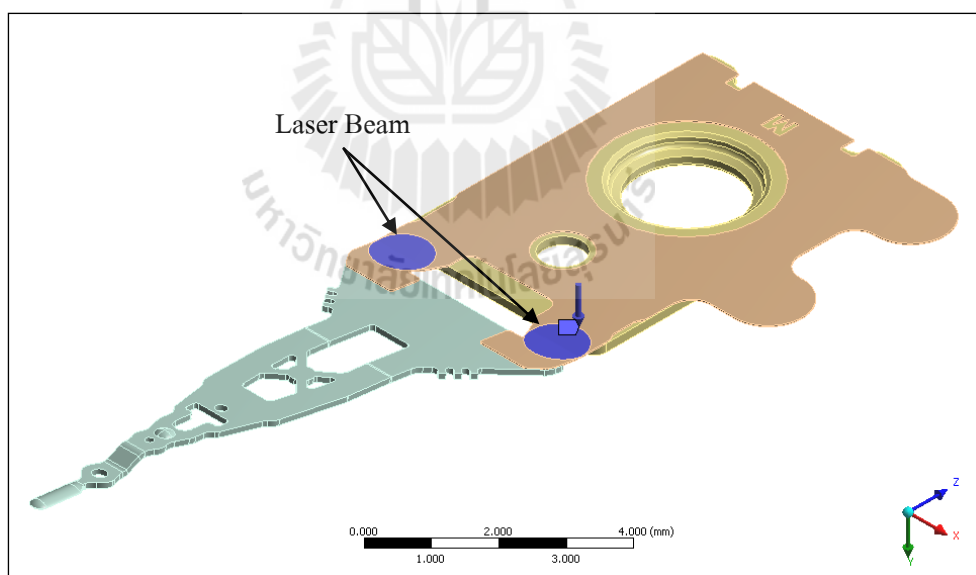
รูปที่ 3.17 เอลิเมนต์ที่ใช้ในการวิเคราะห์

3.6 การกำหนดเงื่อนไขการตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์

กระบวนการตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์จะกระทำบริเวณผิวด้านบนของ Hinge ในขณะที่ทำการวัดค่ากรัมโหลดโดยกำหนดบริเวณที่ได้รับความร้อนดังรูปที่ 3.18 ตามขนาดรัศมีของเลเซอร์ที่ใช้ จากนั้นกำหนดค่าปริมาณความร้อนที่ชิ้นงานได้รับ ซึ่งได้จากการวิจัยของ Patangtalo, Aimmanee, and Chutima, (2009) โดยจะคำนวณจากสมการที่ได้จากการประมาณค่าฟลักซ์ความร้อนจากเลเซอร์แบบ Gaussian distribution ตามสมการที่ 3.3

$$\bar{q} \equiv \frac{0.865AP}{\pi r^2} \quad ; \quad \text{W/mm}^2 \quad (3.3)$$

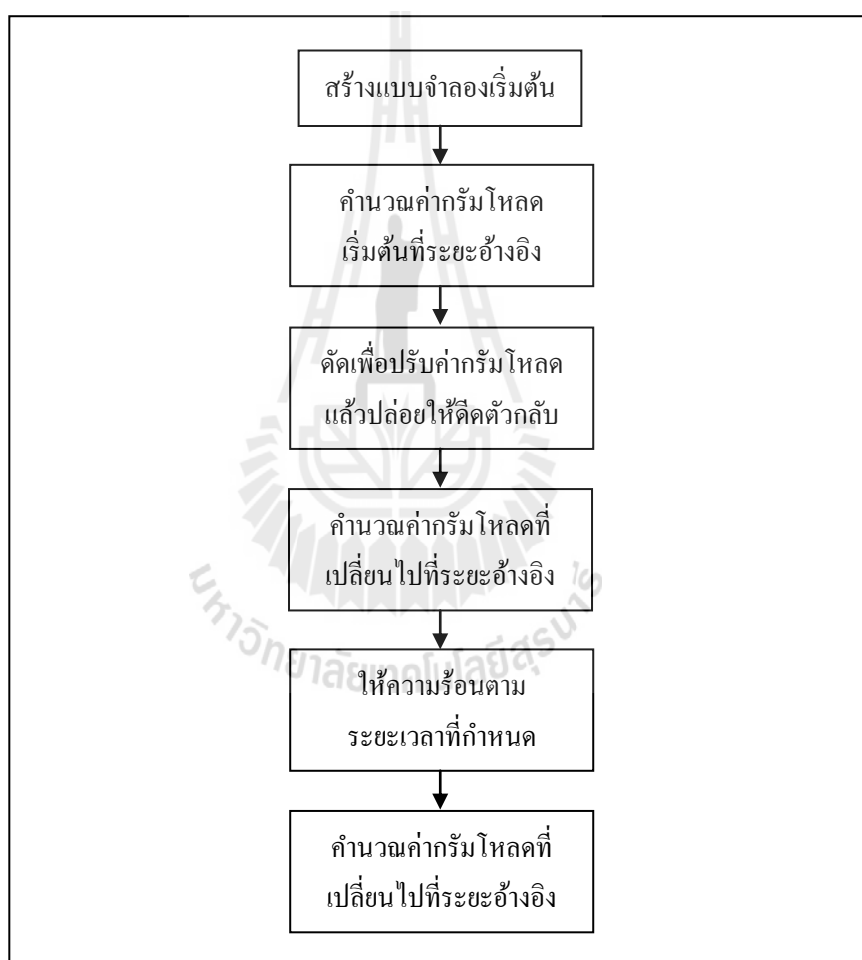
โดยที่	$\bar{q}$	คือ	ฟลักซ์ความร้อนเฉลี่ยจากเลเซอร์
	A	คือ	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความร้อนจากเลเซอร์ของเหล็กกล้าไร้สนิม
	P	คือ	กำลังของเลเซอร์
	r	คือ	รัศมีของลำเลเซอร์



รูปที่ 3.18 บริเวณที่ฉายเลเซอร์บนชิ้นงาน

3.7 การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมและการคำนวณค่ากรัมไหล

การวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 ได้ทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่ากรัมไหลก่อนและหลังการตัดด้วยวิธีทางกลและการตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์โดยได้ทำการจำลองกระบวนการปรับค่ากรัมไหลตามรูปที่ 3.19 ซึ่งอ้างอิงกระบวนการตัดเพื่อปรับค่ากรัมไหลจากกระบวนการจริงที่ใช้ในภาคอุตสาหกรรม โดยการคำนวณค่ากรัมไหลที่เปลี่ยนไปด้วยโปรแกรมนั้นใช้การเปลี่ยนตำแหน่งของ Dimple ในการอ้างอิง เมื่อตำแหน่ง Dimple เคลื่อนที่ไปในทิศทาง +Y และ -Y จะเป็นการลดและเพิ่มค่ากรัมไหล ตามลำดับ



รูปที่ 3.19 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

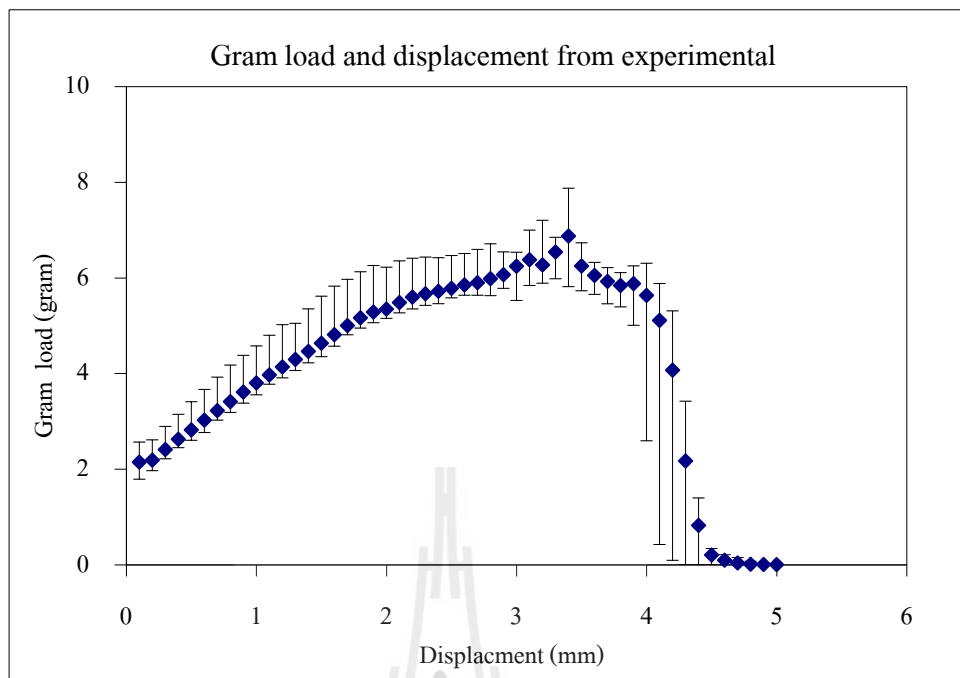
สำหรับในบทนี้เป็นนำเสนอถึงผลที่ได้จากการจำลองการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกลและการตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์ตามแบบจำลองชิ้นงานดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 พร้อมทั้งเปรียบเทียบค่ากรัมโหลดที่คำนวณได้จากโปรแกรมกับค่าที่ได้จากการวัดจริง

4.1 ผลการวิจัย

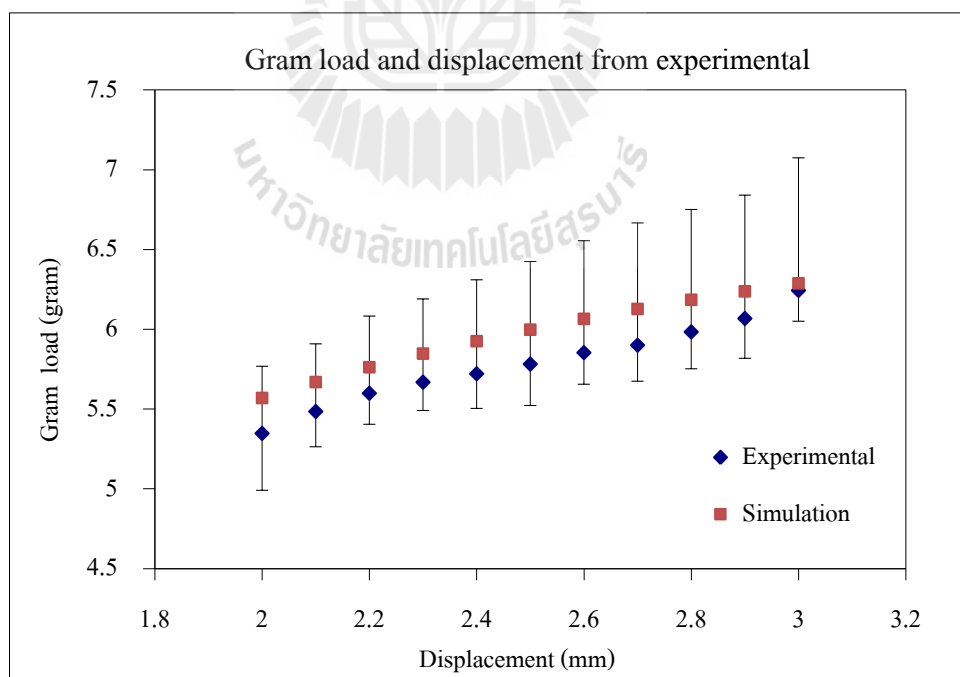
ในการวิจัยนี้ได้จำลองการตัดชิ้นงาน โดยกำหนดระยะการตัดต่างๆ กัน ทำให้แขนจับหัวอ่านเกิดการเคลื่อนที่ด้วยระยะค่าหนึ่ง จากนั้นจะปล่อยชิ้นงานให้คืนตัวกลับแล้วจึงคำนวณหาค่ากรัมโหลดที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้ต้องมีการทดสอบเพื่อหาระยะในการตัดที่จะเริ่มทำให้เกิดการเสียรูปถาวร (Plastic Deformation) และที่ทำให้เกิดความเสียหายจนไม่สามารถรับแรงกระทำได้อีกต่อไปเพื่อกำหนดระยะในการตัดให้กับโปรแกรม

4.1.1 ผลการทดสอบค่ากรัมโหลด

ผลการทดสอบค่ากรัมโหลดกับระยะในการตัดสามารถทราบได้จากการเก็บข้อมูลที่ได้รับการอนุเคราะห์จาก บริษัท แมกเนคอมพ์ ฟริชชั่น เทคโนโลยี จำกัด (มหาชน) แสดงในรูปที่ 4.1-4.2 ซึ่งเป็นการวัดค่ากรัมโหลดโดยให้หัววัดแรงเคลื่อนที่จากตำแหน่งอ้างอิง กดลงไปบริเวณตำแหน่ง Dimple พร้อมทั้งอ่านค่าทุกๆ 0.1 มิลลิเมตรที่หัววัดแรงเคลื่อนที่ โดยพบว่า เมื่อหัววัดแรงเคลื่อนที่กดชิ้นงานจากตำแหน่งอ้างอิง ที่กำหนดให้เป็นตำแหน่งศูนย์ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งถึงระยะ 5 มิลลิเมตร พบว่าที่ระยะการเคลื่อนที่ของหัววัดแรงประมาณ 3 มิลลิเมตร ค่ากรัมโหลดมีค่าสูงสุด หลังจากนั้นค่ากรัมโหลดจะลดลงอย่างเห็นได้ชัด อันเป็นผลเนื่องมาจากชิ้นส่วนแขนจับหัวอ่านมีการเสียรูปถาวร (Plastic Deformation) เกิดขึ้น จึงสามารถหาระยะการตัดที่ชิ้นงานเกิดการเสียรูปถาวรเพื่อใช้ระบุให้กับโปรแกรมในการวิเคราะห์ได้คือช่วงระหว่าง 2-3 มิลลิเมตร โดยผลที่ได้จากการทดลอง แสดงในรูปที่ 4.1 จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลของระยะการตัดต่อค่ากรัมโหลดระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรมและค่าที่วัดจริง แสดงในรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ค่ากรัมโหลดที่วัดได้กับระยะในการเคลื่อนที่ของหัววัดแรง



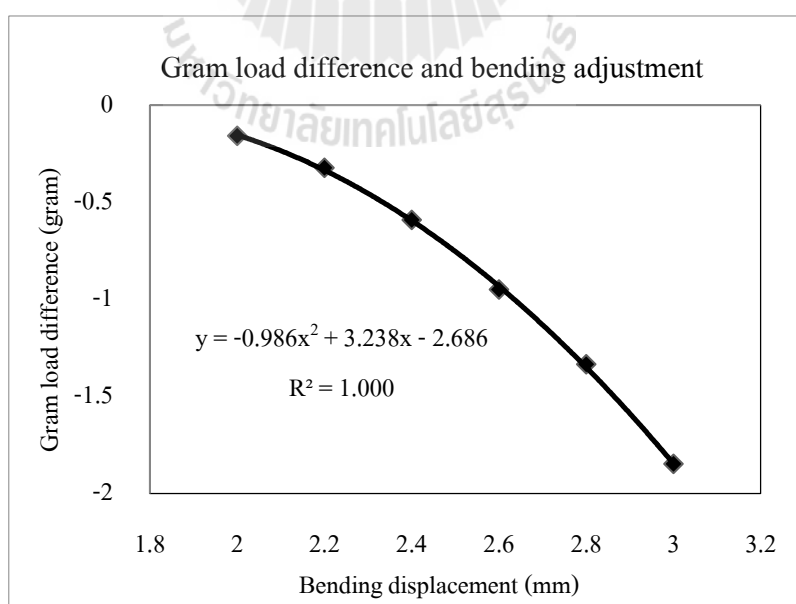
รูปที่ 4.2 ค่ากรัมโหลดที่วัดได้กับระยะในการเคลื่อนที่ของหัววัดแรง 2-3 มิลลิเมตร

4.1.2 ผลการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล

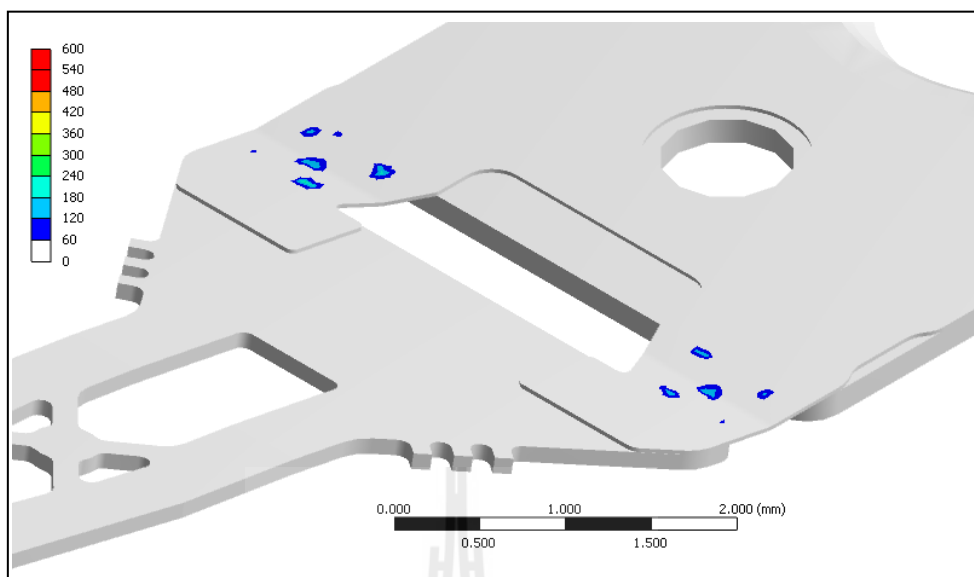
ผลที่ได้จากการกำหนดระยะในการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดด้วยวิธีทางกล โดยแสดงผลของค่ากรัมโหลดก่อนและหลังการปรับค่า แสดงในตารางที่ 4.1 สามารถหาความสัมพันธ์ของค่ากรัมโหลดและระยะการตัด แสดงในรูปที่ 4.3 ค่าความเค้นดก้างและความเครียดถาวรที่เกิดขึ้นกับแกนจับหัวอ่านภายหลังการตัดด้วยระยะ 2-3 มิลลิเมตร แสดงในรูปที่ 4.4-4.15

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่ากรัมโหลดที่ได้จากโปรแกรมกับระยะการตัด

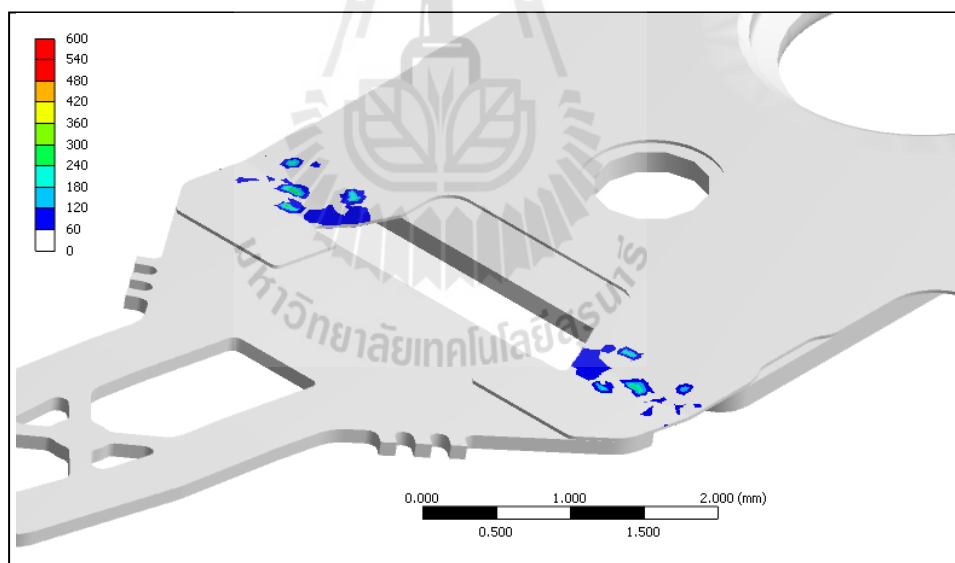
ระยะการตัด (มิลลิเมตร)	ค่ากรัมโหลด ก่อนการตัด (กรัม)	ตำแหน่ง Dimple หลังการตัด (มิลลิเมตร)	ค่ากรัมโหลด หลังการตัด (กรัม)	ค่ากรัมโหลด ที่เปลี่ยนไป (กรัม)
2.0	3.945	+0.045	3.829	-0.159
2.2	3.945	+0.094	3.665	-0.324
2.4	3.945	+0.172	3.396	-0.592
2.6	3.945	+0.277	3.038	-0.950
2.8	3.945	+0.403	2.653	-1.335
3.0	3.945	+0.543	2.140	-1.848



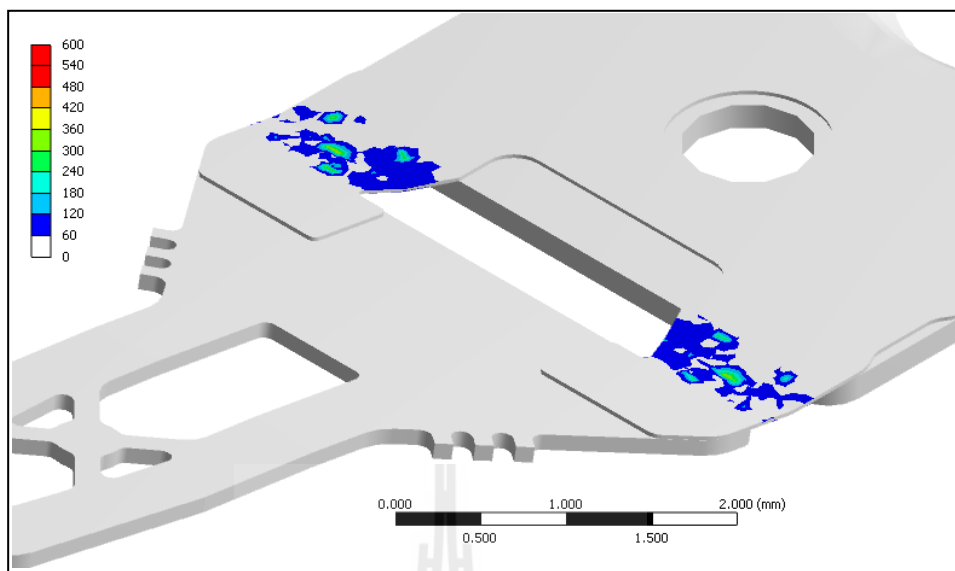
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรัมโหลดที่เปลี่ยนไปกับระยะการตัดช่วง 2-3 มิลลิเมตร



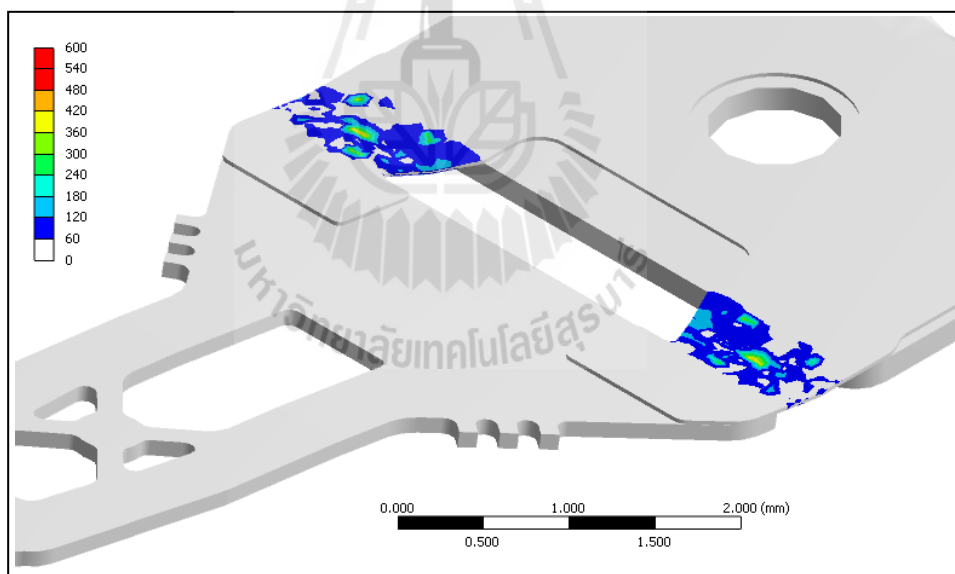
รูปที่ 4.4 ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2 มิลลิเมตร



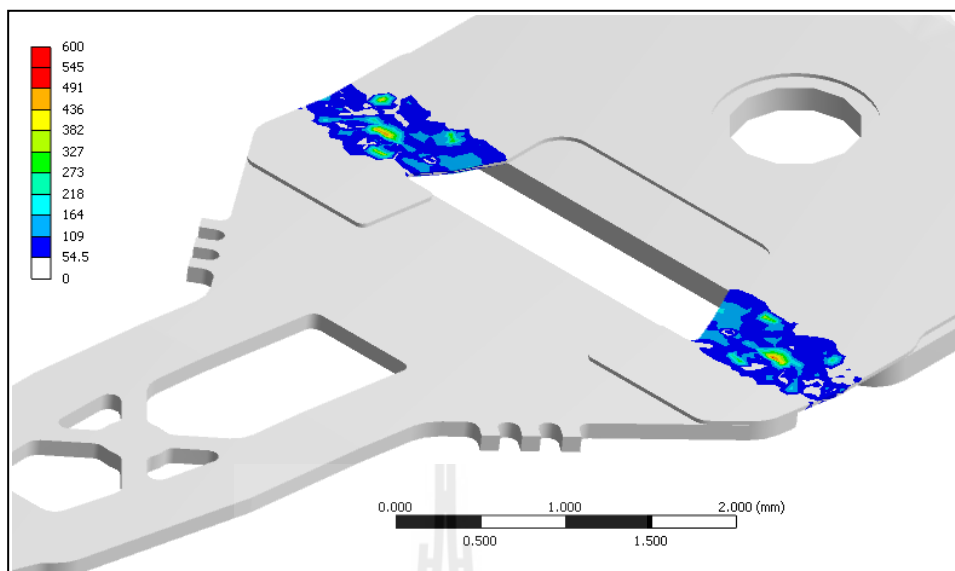
รูปที่ 4.5 ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.2 มิลลิเมตร



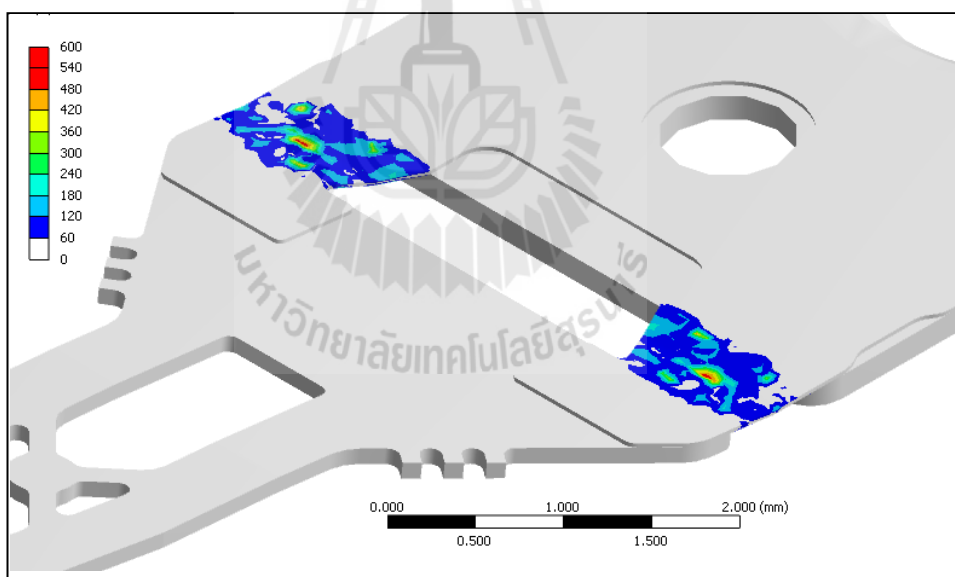
รูปที่ 4.6 ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.4 มิลลิเมตร



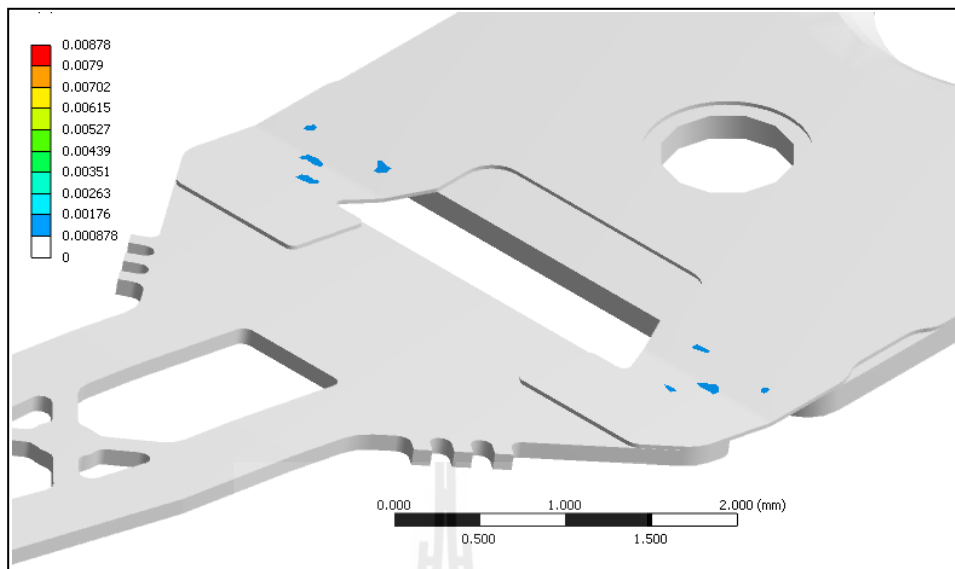
รูปที่ 4.7 ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.6 มิลลิเมตร



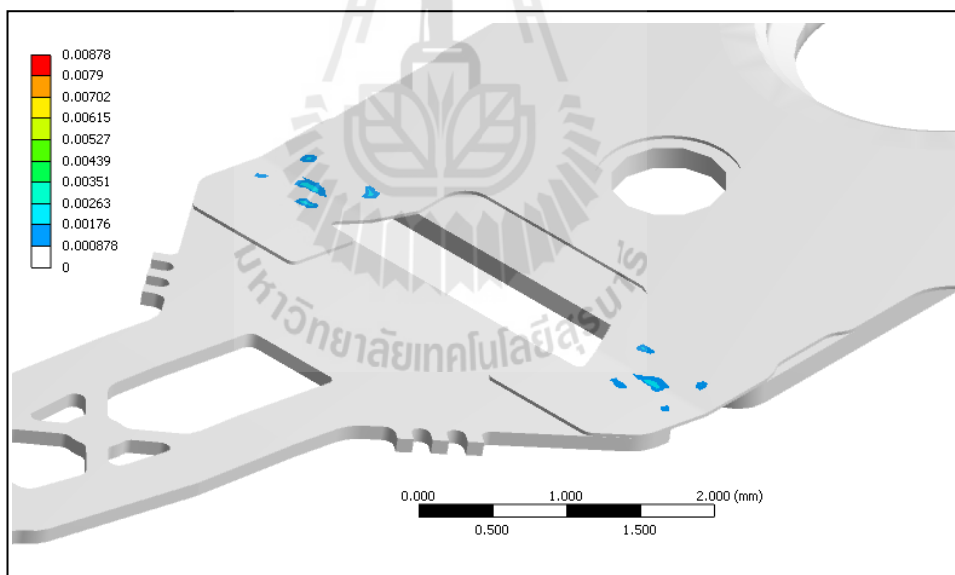
รูปที่ 4.8 ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.8 มิลลิเมตร



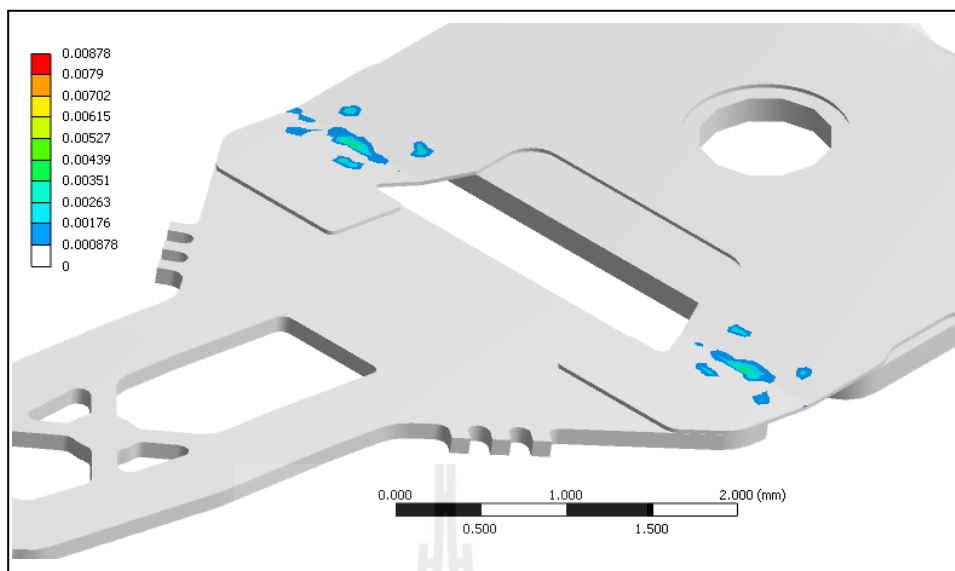
รูปที่ 4.9 ความเค้นตกค้างหลังจากตัดด้วยระยะ 2.8 มิลลิเมตร



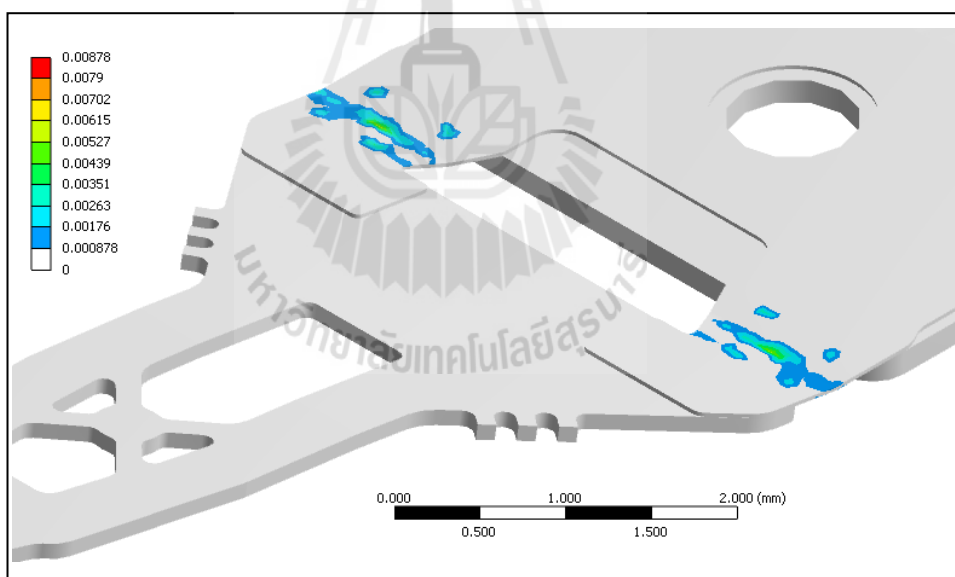
รูปที่ 4.10 ความเค้นดัดงอหลังจากตัดด้วยระยะ 2 มิลลิเมตร



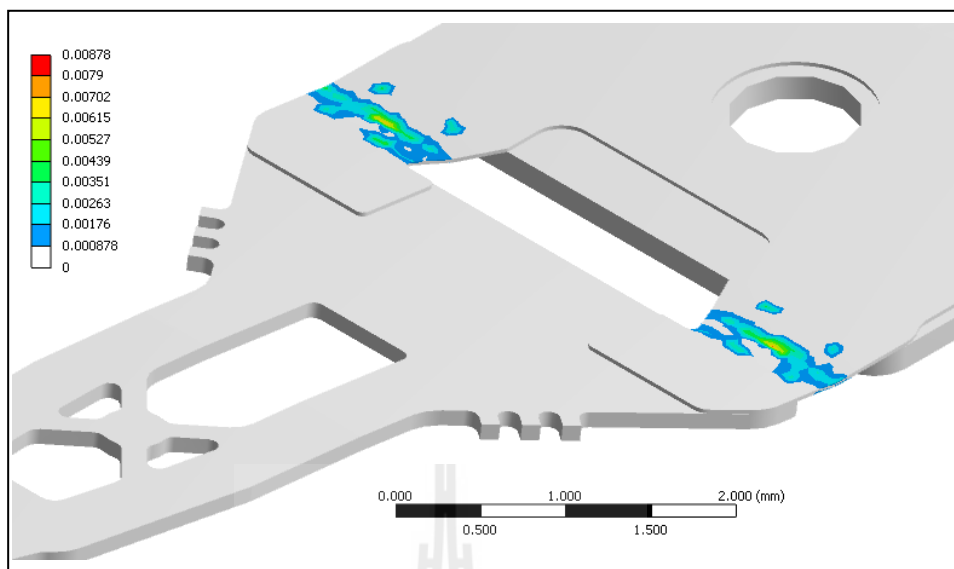
รูปที่ 4.11 ความเค้นดัดงอหลังจากตัดด้วยระยะ 2.2 มิลลิเมตร



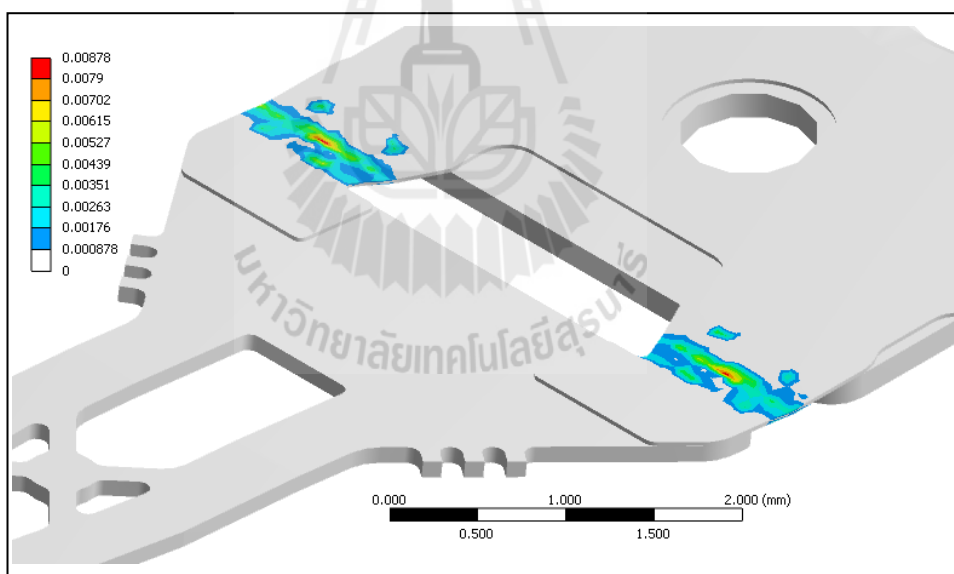
รูปที่ 4.12 ความเค้นดัดงอหลังจากตัดด้วยระยะ 2.4 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.13 ความเค้นดัดงอหลังจากตัดด้วยระยะ 2.6 มิลลิเมตร



รูปที่ 4.14 ความเค้นดัดงอหลังจากตัดด้วยระยะ 2.8 มิลลิเมตร



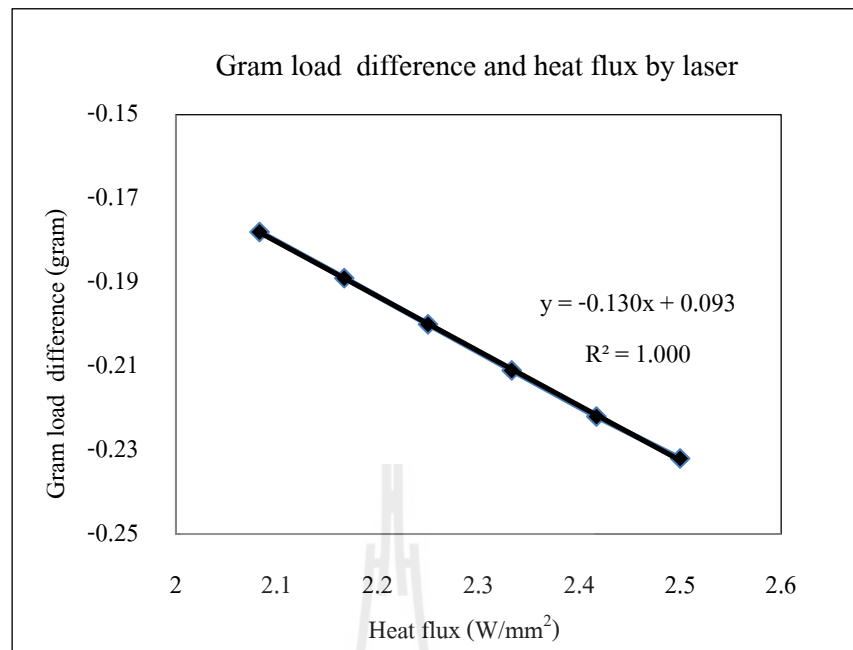
รูปที่ 4.15 ความเค้นดัดงอหลังจากตัดด้วยระยะ 3 มิลลิเมตร

4.1.3 ผลการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดด้วยความร้อนจากเลเซอร์

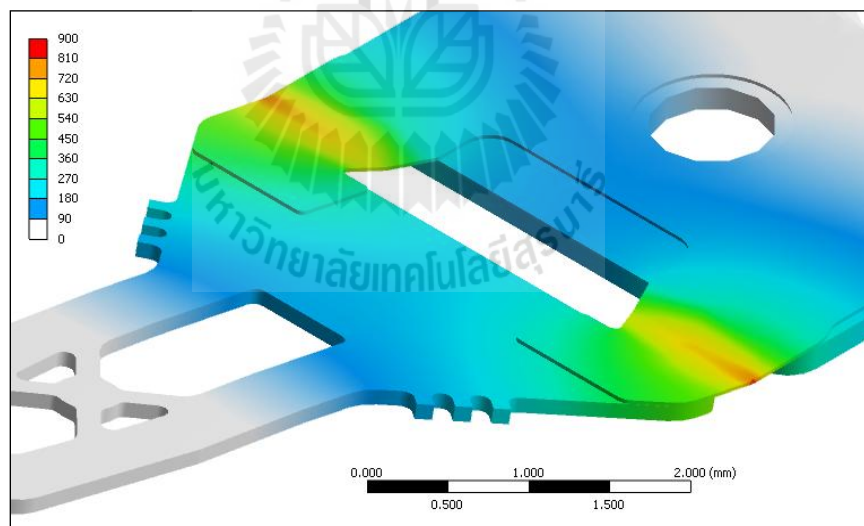
การตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์นั้นจะกำหนดค่า กำลังของเลเซอร์ในการใช้งาน โดยในงานวิจัยนี้จะทำการเปลี่ยนค่ากำลังของเลเซอร์ในระยะเวลาการให้ความร้อนที่เท่ากัน ซึ่งจะส่งผลให้ปริมาณความร้อนและอุณหภูมิที่ให้กับแกนจับหัวอ่าน มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วย ดังตารางที่ 4.2 โดยเปรียบเทียบถึงผลของการให้ปริมาณความร้อนแก่แกนจับหัวอ่านกับการเสียรูปของแกนจับหัวอ่านโดยพิจารณาค่าแห่งของ Dimple ที่เปลี่ยนไป

ตารางที่ 4.2 ผลของกำลังเลเซอร์กับค่ากรัมโหลดที่ระยะอ้างอิงในระยะเวลา 0.5 วินาที

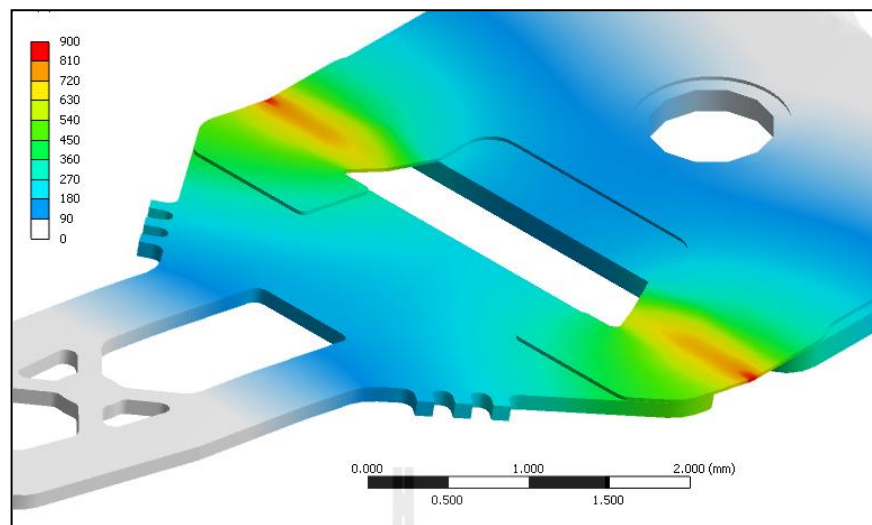
กำลังเลเซอร์ (W)	ปริมาณความร้อน (W/mm ²)	อุณหภูมิสูงสุด (°C)	ตำแหน่ง Dimple (มิลลิเมตร)	ค่ากรัมโหลด ที่เปลี่ยนไป (กรัม)
5.0	2.083	729	+0.0569	-0.178
5.2	2.167	755	+0.0604	-0.189
5.4	2.250	783	+0.0639	-0.200
5.6	2.333	812	+0.0674	-0.211
5.8	2.417	840	+0.0708	-0.222
6.0	2.500	868	+0.0741	-0.232



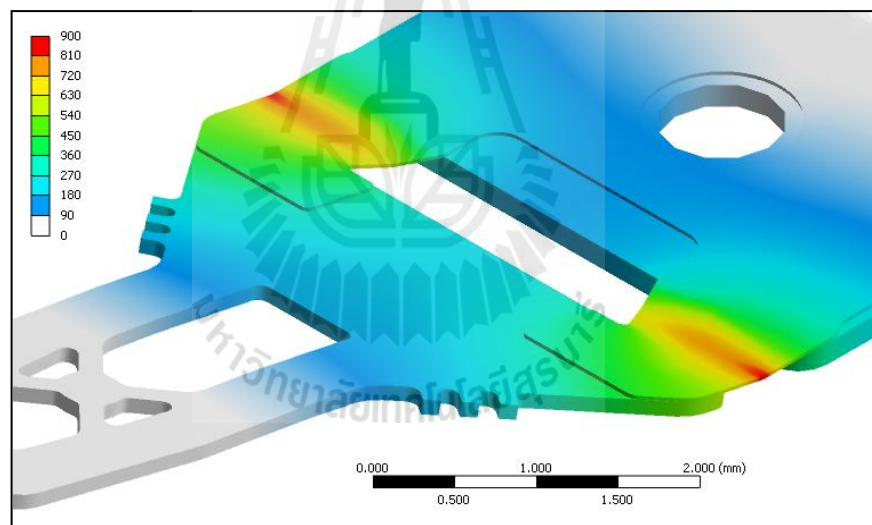
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงค่ากรัมโหลด



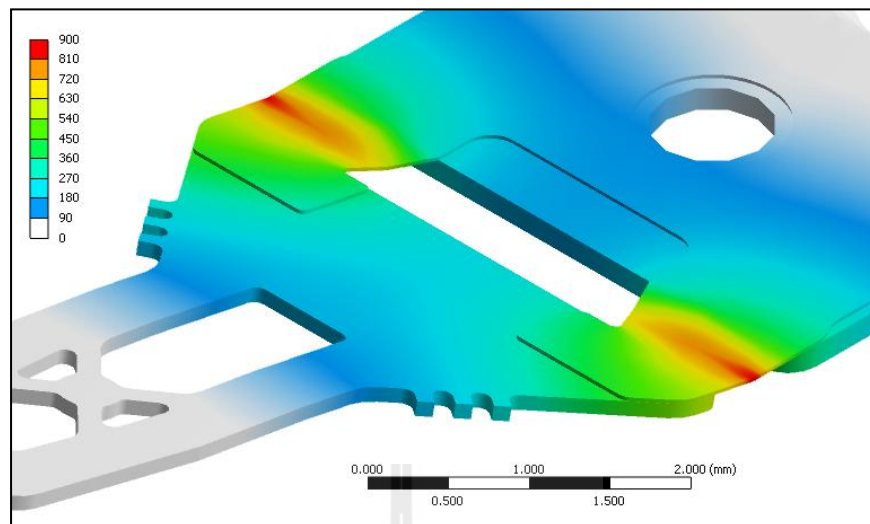
รูปที่ 4.17 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ 5 วัตต์



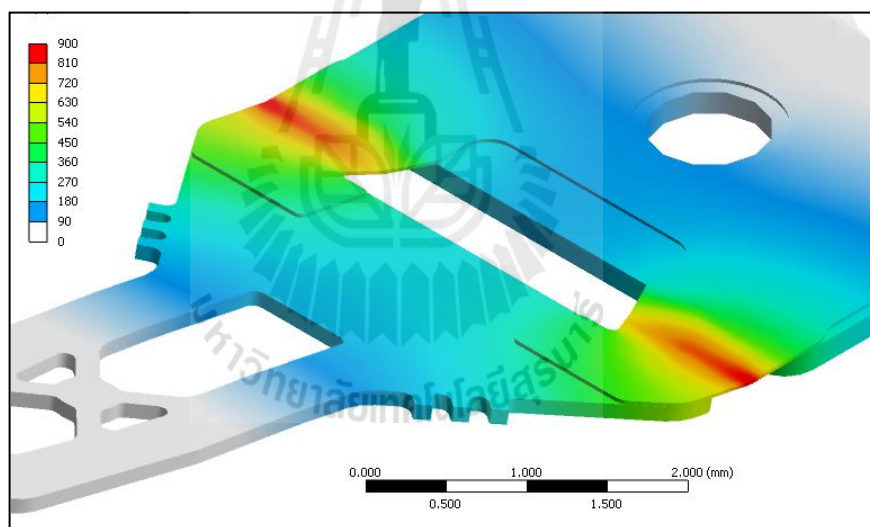
รูปที่ 4.18 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ 5.2 วัตต์



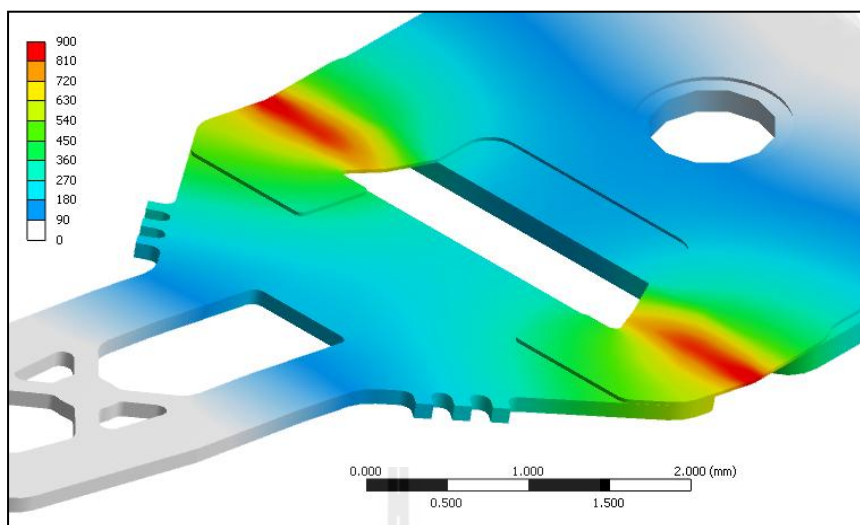
รูปที่ 4.19 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ 5.4 วัตต์



รูปที่ 4.20 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ 5.6 วัตต์



รูปที่ 4.21 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ 5.8 วัตต์



รูปที่ 4.22 การกระจายตัวของอุณหภูมิภายหลังให้ความร้อนด้วยเลเซอร์ 6 วัตต์

4.2 อภิปรายผล

จากผลการทดสอบค่ากรัมโหลพบว่าชิ้นงานจริงเมื่อทำการตัดไปโดยการเพิ่มระยะการตัดไปเรื่อยๆ พบว่า ชิ้นงานจะมีค่ากรัมโหลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อย่างต่อเนื่อง ในช่วงระยะ 0-2 มิลลิเมตร จนความสัมพันธ์ระหว่างค่ากรัมโหลกับระยะในการตัดเกือบที่จะเป็นเชิงเส้น แต่เมื่อระยะในการตัดเพิ่มขึ้นอยู่ในช่วง 3-4 มิลลิเมตร ค่ากรัมโหลจะมีอัตราการเพิ่มขึ้นลดลงจนระยะในการตัดมากกว่า 4 มิลลิเมตร ค่ากรัมโหลที่วัดได้จะมีค่าลดลงจนเป็นศูนย์ หรือชิ้นงานแขนจับหัวอ่านที่นำมาทดสอบนั้นเกิดการเสียหาย

ผลจากการจำลองการตัดด้วยวิธีทางกล พบว่า ชิ้นงานแขนจับหัวอ่าน เมื่อทำการตัดไปที่ระยะต่างๆ กัน ทำให้ตำแหน่ง Dimple ที่ใช้ในการอ้างอิงมีการเปลี่ยนแปลงไปต่างกัน ซึ่งเมื่อระยะในการตัดเพิ่มขึ้น ตำแหน่ง Dimple ก็จะเปลี่ยนไปมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ค่ากรัมโหลมีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้นตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการเสียรูปของชิ้นงาน อีกทั้งเมื่อระยะในการตัดมากขึ้น ก็จะทำให้ความเค้นที่ตกค้างหลังจากการตัดมากขึ้นตามไปด้วย

ผลของการตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์ ในการวิจัยจะทำการกำหนดช่วงของกำลังเลเซอร์โดยพิจารณาจากการกำหนดค่ากำลังของเลเซอร์ที่ใช้ในสถานประกอบการ โดยใช้ระยะเวลาในการให้ความร้อนเท่ากันเสมอคือ 0.5 วินาทีพบว่า ความร้อนที่เกิดขึ้นกับชิ้นงานแขนจับหัวอ่านจะเพิ่มขึ้นตามกำลังของเลเซอร์ที่ให้ และทำให้ค่ากรัมโหลที่คำนวณได้มีการลดลงตามไปด้วย เมื่อพิจารณาค่าตำแหน่งของ Dimple ที่เปลี่ยนไปตามการกำหนดกำลังของเลเซอร์เพิ่มขึ้น โดยการกระจายตัวของอุณหภูมิจะมีลักษณะคล้ายกันแต่ต่างกันตรงอุณหภูมิของบริเวณที่ได้รับความร้อน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการวิจัยโดยสรุปและข้อเสนอแนะในการดำเนินการทำวิจัยต่อไป โดยจะกล่าวถึงผลสรุปของงานวิจัย และข้อเสนอแนะแนวทางในการวิจัยเกี่ยวกับแขนจับหัวอ่าน โดยการใช้โปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ต่อไป

5.1 สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการจำลองการตัดด้วยวิธีทางกลและการตัดด้วยความร้อนจากเลเซอร์โดยศึกษาความสัมพันธ์ของระยะในการตัดต่อค่ากรัมโหลด และปริมาณความร้อนต่อค่ากรัมโหลด ในกระบวนการปรับค่ากรัมโหลดของแขนจับหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ โดยสรุปเป็นข้อๆ ดังนี้

1. ผลของการตัดเพื่อปรับค่ากรัมโหลดเมื่อทำการตัดด้วยระยะต่างๆ พบว่า ระยะในการตัดที่ทำให้ค่ากรัมโหลดเกิดการเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง ระยะ 2-3 มิลลิเมตรจากตำแหน่งอ้างอิงเริ่มต้น ทำให้ค่ากรัมโหลดเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม 0.15-1.8 กรัม และได้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการตัดต่อค่ากรัมโหลดเปลี่ยนแปลงในช่วงระยะการตัด 2-3 มิลลิเมตร ตามสมการดังนี้

$$y_1 = -0.986x_1^2 + 3.238x_1 - 2.686$$

โดยที่ y_1 = ค่ากรัมโหลดที่เปลี่ยนแปลง

x_1 = ระยะการตัด

โดยเมื่อเพิ่มระยะในการตัดมากขึ้น ค่ากรัมโหลดจะลดลงเนื่องเป็นผลเนื่องมาจากชิ้นงานเสียดสีมากขึ้นทำให้ค่ากรัมโหลดมีค่าลดลงนั่นเอง

2. ผลของปริมาณความร้อนที่ให้โดยการฉายเลเซอร์ พบว่า เมื่อทำการเพิ่มปริมาณความร้อนให้กับชิ้นงานแขนจับหัวอ่านจากการกำหนดในช่วงกำลังของเลเซอร์ 5-6 วัตต์ มีผลทำให้ค่ากรัมโพลด์มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นตามไปด้วยโดยเปลี่ยนแปลงอยู่ระหว่าง 0.17-0.23 กรัม ช่วงกำลังของเลเซอร์ที่ใช้ 5-6 วัตต์ ในระยะเวลาให้ความร้อน 0.5 วินาทีโดยจะได้ผลการดังนี้

$$y_2 = -0.130x_2 + 0.093$$

โดยที่ y_2 = ค่ากรัมโพลด์ที่เปลี่ยนแปลง
 x_2 = ปริมาณความร้อนที่ให้

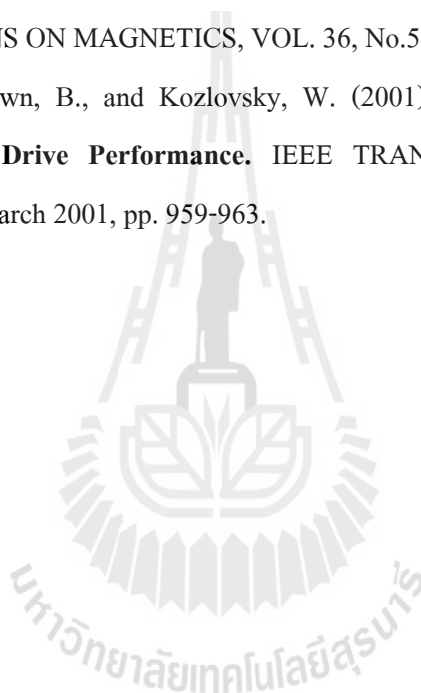
5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมวิเคราะห์ทางไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นควรที่จะทำการทดสอบคุณสมบัติวัสดุก่อนที่จะนำมาใช้กับโปรแกรม เนื่องจากค่ามาตรฐานโดยทั่วไปของวัสดุนั้นอาจไม่ถูกต้องตามชิ้นงานจริงที่นำมาทดสอบเนื่องจากปัจจัยหลายๆ อย่าง เช่น กรรมวิธีการผลิตผ่านการรีดขึ้นรูป ซึ่งที่กระบวนการนี้จะทำให้วัสดุนั้นมีคุณสมบัติไม่เท่ากันทุกทิศทาง ดังจะเห็นได้จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุในบทที่ 3 โดยค่าที่ได้มีความแตกต่างกันในแต่ละทิศทางการขึ้นรูป ซึ่งอาจทำให้ผลการคำนวณจากโปรแกรมนั้นมีความคลาดเคลื่อนสูงได้

รายการอ้างอิง

- ขจรศักดิ์ ใจดี และ สุรเชษฐ์ ชูติมา (2553). การศึกษาพฤติกรรมชิ้นส่วน HGA ขณะถูกจับยึดด้วย **Shipping comb**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 92 หน้า.
- จักรพันธ์ ปริรักษวิจิตร สุรเชษฐ์ ชูติมา และ ทศนพ กำเนิดทอง (2550). การศึกษา **Static Attitude และ Gram Load Clamping Unit** โดยการศึกษาวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 98 หน้า.
- เทวิน พันภัย และ ชีระ เจียศิริพงษ์กุล (2550). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของ HSA ในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์พร้อมทั้งตรวจสอบการสั่นสะเทือนโดยใช้ SLDV. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 จังหวัดชลบุรี. หน้า 897-901.
- ภากรณ์ ทรัพย์เจริญ และ กนต์ธร ชานีประศาสน์ (2551). การวิเคราะห์มุมลอยตัวของชุดจับยึดหัวอ่านฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. 61 หน้า.
- สุรเชษฐ์ ชูติมา ทศนพ กำเนิดทอง จักรพันธ์ ปริรักษวิจิตร และ ขจรศักดิ์ ใจดี (2553). การศึกษาสภาพการเสียรูปของ HGA ภายหลังการจับยึดโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 21 จังหวัดชลบุรี. หน้า 902-907.
- อนันตวิทย์ ตูจันดา สุรเชษฐ์ ชูติมา และ เอกราช ปั่นแก้ว (2551). การวิเคราะห์การสั่นสะเทือนของชุดเพนชันในฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี พ.ศ.2551, 20-22 ตุลาคม 2551.
- Bergström, D., Powell, J., and Kaplan, A.F.H. (2007). **Absorptance of nonferrous alloys to Nd:YLF and Nd:YAG laser light at room temperature**. Appl. Opt. 46, pp. 1290-1301.

- Kheunkhieo, P., and Tangchaichit, K. (2010). **3-Dimensional Stress Analysis of a Ball Swaging Process Using the Finite Element Method.** KKU Research Journal 15, Vol. 7, July 2010, pp. 581-591.
- Patangtalo, W., Aimmanee, S., and Chutima, S. (2009). **Deformations of a Suspension in a Hard Disk Drive Caused by Laser Scribing Process.** The 2nd International Data Storage Technology Conference (DST-CON 2009), May 13-15, pp. 59.
- Singh, G., Wu, X., Brown, B., and Kozlovsky, W. (2000). **Laser Processing to Adjust the Suspension Preload of Magnetic Recording Head Stack Assemblies.** IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, VOL. 36, No.5, September 2000, pp. 2724-2726.
- Singh, G., Wu, X., Brown, B., and Kozlovsky, W. (2001). **Laser Gram load Adjust for Improve Disk Drive Performance.** IEEE TRANSACTIONS ON MAGNETICS, Vol. 37, No.2, March 2001, pp. 959-963.





ภาคผนวก ก

การทดสอบความน่าเชื่อถือของโปรแกรม

ก.1 การทดสอบผลจากแรงกระทำทางกล

การทดสอบโปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 มีขึ้นเพื่อสร้างความมั่นใจในความถูกต้องแม่นยำและความมีเสถียรภาพในการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งความจริงแล้วก่อนที่นำโปรแกรมออกสู่ตลาดได้นั้น โปรแกรมจะต้องถูกทดสอบมาเป็นอย่างดี ดังนั้นประโยชน์โดยแท้จริงนั้นคือให้ผู้ใช้ได้ศึกษาการใช้งานของโปรแกรมให้มีความถูกต้อง ตลอดจนฝึกฝนและสร้างประสบการณ์จนเกิดความมั่นใจ ก่อนที่จะนำโปรแกรมนั้นๆ ไปวิเคราะห์กับปัญหาในงานวิจัยด้านต่าง ๆ

ก.1.1 การวิเคราะห์การเสถียรภาพของแผ่นบาง

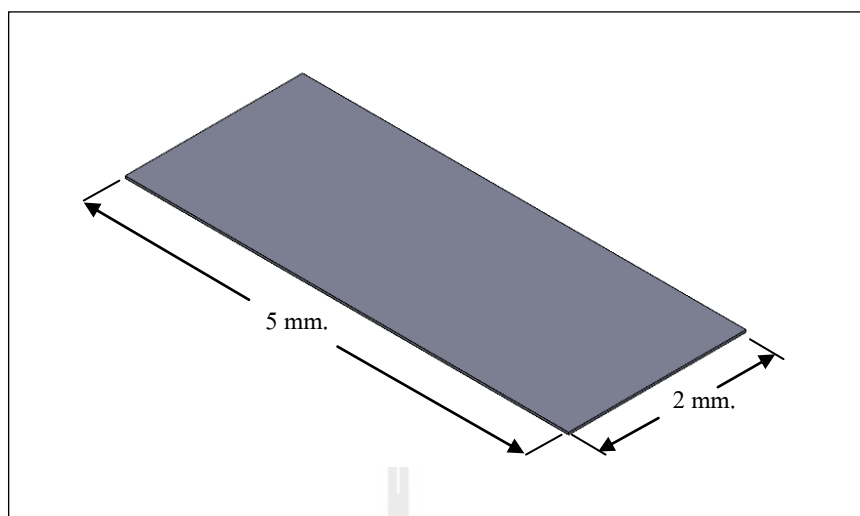
การวิเคราะห์การเสถียรภาพของแผ่นบาง เป็นการวิเคราะห์แรงที่กระทำกับแผ่นบางแบบสถิตศาสตร์ โดยจะพิจารณาลักษณะของปัญหาลักษณะคานยื่น กำหนดให้แรงที่กระทำกับคานมีขนาดและทิศทางคงที่ โดยในการวิเคราะห์ด้วย ANSYS Workbench 12.0 จะสามารถนำเข้าไฟล์ที่สร้างจากโปรแกรม SolidWorks 2010 ทั้งชิ้นส่วน (Part) และชิ้นงานประกอบ (Assembly) โดยชิ้นงานที่ต้องการวิเคราะห์จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์เล็กๆ ก่อนที่จะนำไปวิเคราะห์ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ก.1.2 การสร้างแบบจำลองของแผ่นบาง

การกำหนดรูปร่างและขนาดของแผ่นบางโดยสร้างที่ใช้ในการวิเคราะห์ โดยสร้างให้มีลักษณะเป็นรูปคานด้วยโปรแกรม SolidWorks 2010 ดังรูปที่ ก.1 ขนาด กว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตร หนา 0.025 มิลลิเมตร กำหนดให้คุณสมบัติวัสดุของเป็น Structural Steel

ตารางที่ ก.1 คุณสมบัติวัสดุของ Structural Steel

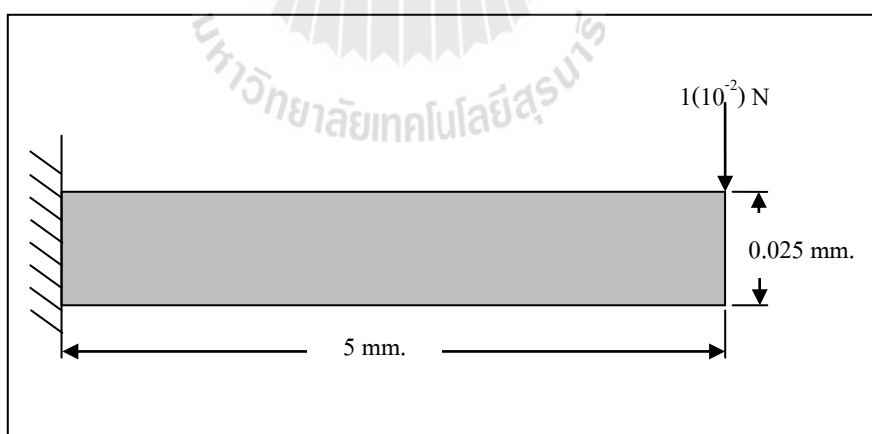
Property	Structural Steel	Unit
Density	7850	kg/mm ³
Young's Modulus	200	MPa
(Poisson's ratio)	0.3	-
Tensile Yield Strength	250	MPa
Compressive Yield Strength	250	MPa
Tensile Ultimate Strength	460	MPa
Compressive Ultimate Strength	0	MPa
Thermal Expansion	1.2(10 ⁻⁵)	°C ⁻¹



รูปที่ ก.1 แผ่นบางที่สร้างจาก โปรแกรม SolidWorks 2010

ก.1.3 การกำหนดแรงกระทำและจุดจับยึด

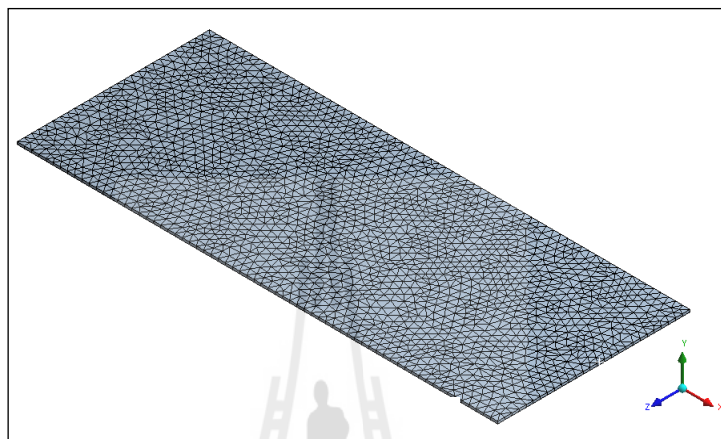
เมื่อทำการสร้างแบบจำลองแผ่นบางได้ตามที่กำหนดแล้ว ทำการยึดปลายด้านหนึ่งให้อยู่กับที่ และทำการให้แรงกระทำที่ปลายอีกด้านของแบบจำลองแผ่นบางเท่ากับ $1(10^{-2})$ นิวตัน ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 กำหนดแรงกระทำและจุดจับยึด

ก.1.4 การสร้างเอลิเมนต์

จากนั้นแบ่งชิ้นส่วนที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็น เอลิเมนต์เล็กๆ โดยมีจำนวนหลายๆ เอลิเมนต์ โดยใช้โปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 และกำหนดให้ขนาดของเอลิเมนต์มีขนาดเท่ากับ 0.075 มิลลิเมตร ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 เอลิเมนต์ที่ใช้กับชิ้นงาน

ก.1.5 การประมวลผล

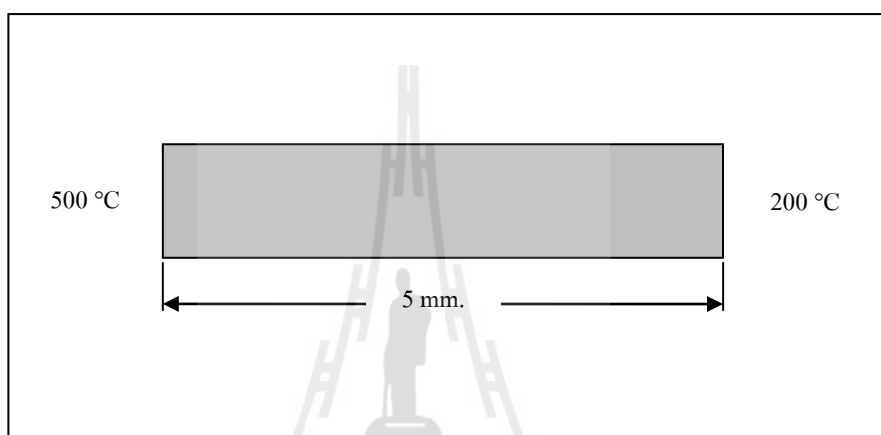
เมื่อได้ชิ้นงานที่มีขนาดของเอลิเมนต์ตามต้องการแล้ว ทำการกำหนดคุณสมบัติวัสดุให้เป็น Structural Steel โดยใช้ค่าตามตารางที่ ก.1 และกำหนดจุดจับยึดและให้แรงกระทำ ดังรูปที่ ก.2 และใช้โปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 ในการประมวลผลโดยพิจารณา ค่าความเค้นและระยะทรุดตัวที่ปลายของชิ้นงาน ได้ค่าดังตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ผลของแรงกระทำทางกลที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

Force (N)	Defection (mm.)	Von-Mises Stress (MPa)
$1(10^{-3})$	0.7726	243

ก.2 การทดสอบผลกระทบจากความร้อน

ทำการทดสอบโดยให้ความร้อนที่ปลายด้านหนึ่งแบบจำลองดังรูปที่ ก.4 เท่ากับ 500 องศาเซลเซียส และ 200 องศาเซลเซียสที่ปลายอีกด้านหนึ่ง จากนั้นทำการแบ่งเอลิเมนต์และกำหนดคุณสมบัติวัสดุเช่นเดียวกับการทดสอบการผลจากแรงกระทำทางกล และใช้โปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 ในการวิเคราะห์ค่าการขยายตัวตามแนวยาวและความเค้นจากความร้อน โดยแสดงผลที่ได้จากโปรแกรมในตารางที่ ก.3



รูปที่ ก.4 การให้ความร้อนกับแบบจำลอง

ตารางที่ ก.3 ผลของความร้อนที่ได้จากการคำนวณด้วยโปรแกรม

Displacement (mm.)	Von-Mises Stress (Pa)
0.0196	759460

ก.3 การเปรียบเทียบผลกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

ก.3.1 การทรุดตัวของคาน

การคำนวณเพื่อหาการทรุดตัวของแผ่นบางที่มีลักษณะเป็นคาน โดยปลายด้านหนึ่งถูกยึดอยู่กับที่ส่วนปลายด้านหนึ่งมีแรงมากระทำ โดยใช้สมการ (ก.1) ในการคำนวณ

$$\delta = \frac{PL^3}{3EI} + \frac{6PL}{5AG} \quad (\text{ก.1})$$

โดยที่	δ	=	ระยะทรุดตัวกับคาน
	P	=	แรงที่กระทำกับคาน
	L	=	ความยาวของคาน
	E	=	Modulus of Elasticity
	I	=	Moment of Inertia
	A	=	พื้นที่หน้าตัดของคาน

เมื่อกำหนดให้คานที่ใช้ในการวิเคราะห์ มีหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด กว้าง 2 มิลลิเมตร ยาว 5 มิลลิเมตรหนา 0.025 มิลลิเมตร ค่ามอดูลัสยัง 200 MPa มีแรงกระทำที่ปลายคานเท่ากับ $1(10^{-2})$ นิวตัน

$$\delta = \frac{(0.01)(5)^3}{3(200(10^6))(\frac{(2)(0.025)^3}{12})} + \frac{6(0.01)(5)}{5(2)(0.025)(\frac{200(10^6)}{2(1+0.3)})}$$

$$\delta = 0.8156 \text{ มิลลิเมตร}$$

ก.3.2 ความเค้นเนื่องจากแรงกระทำทางกล

ทำการคำนวณเพื่อหาความเค้นค้ดสูงสุดโดยความเค้นจะเกิดขึ้นบริเวณด้านบนและด้านล่างของคานบริเวณที่ถูกยึดติดอยู่กับที่ โดยใช้สมการ (ก.2) ในการคำนวณ

$$\sigma_F = \frac{Mc}{I} \quad (\text{ก.2})$$

โดยที่ σ_F = ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงกระทำ

M = โมเมนต์ที่เกิดขึ้นจากแรงที่กระทำ

c = ความสูงของแกนสะเทิน

I = Moment of Inertia

จะได้

$$\sigma_F = \frac{(0.01)(5)(0.0125)}{\left(\frac{(2)(0.025)^3}{12}\right)}$$

$$\sigma_F = 240 \text{ MPa}$$

ก.3.3 การขยายตัวเชิงเส้นเนื่องจากความร้อน

คำนวณหาค่าการขยายตัวของชิ้นงานตามแนวยาวเนื่องจากผลของอุณหภูมิที่แตกต่างกันในปลายทั้ง 2 ด้าน โดยใช้สมการ (ก.3) ในการคำนวณ

$$\ell = \ell_0(1 + \alpha\Delta T) \quad (\text{ก.3})$$

โดยที่ ℓ = ความยาวที่เพิ่มขึ้น

ℓ_0 = ความยาวเริ่มต้น

α = สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิ

ทำการคำนวณดังรูปที่ ก.4 โดยให้อุณหภูมิที่ปลายทั้ง 2 ด้านเป็น 500 และ 200 องศาเซลเซียส โดยกำหนดความยาวเริ่มต้นเท่ากับ 5 มิลลิเมตร สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนเท่ากับ $1.2(10^{-5})$ จะได้

$$\ell = (5)(1 + (1.2(10^{-5}))(500 - 200))$$

$$\ell = 5.018 \text{ มิลลิเมตร}$$

เพราะฉะนั้น จะได้ความยาวที่เปลี่ยนไป เท่ากับ 0.018 มิลลิเมตร

ก.3.4 ความเค้นเนื่องจากความร้อน

คำนวณหาความเค้นที่เกิดขึ้นกับแบบจำลองบริเวณกึ่งกลางเนื่องจากความร้อน ที่ให้ที่ปลายทั้ง 2 ด้าน โดยใช้สมการ (ก.4) ในการคำนวณ

$$\sigma_T = E\alpha\Delta T \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \text{ความเค้นที่เกิดขึ้นเนื่องจากความร้อน} \\ E &= \text{Modulus of Elasticity} \\ \alpha &= \text{สัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อน} \\ \Delta T &= \text{ผลต่างของอุณหภูมิ} \end{aligned}$$

จะได้

$$\sigma_T = (200(10^6))(1.2(10^{-5}))(500 - 200)$$

$$\sigma_T = 7.5(10^5) \text{ Pa}$$

ก.4 เปรี่เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม

การหาความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 ทำการคำนวณโดยใช้ค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีมาเปรียบเทียบกับเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดในแต่ละกระบวนการที่ใช้โปรแกรมในการวิเคราะห์ แสดงในตารางที่ ก.4

ตารางที่ ก.4 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการคำนวณกับผลที่ได้จากโปรแกรม

Result	Theory	ANSYS	% error
Bending Stress (MPa)	240	243	1.25
Defection (mm.)	0.8156	0.7726	5.27
Thermal Expansion (mm.)	0.0180	0.0196	8.88
Thermal Stress (Pa)	750000	759460	1.26

จากการคำนวณหาความคลาดเคลื่อนของโปรแกรม ANSYS Workbench 12.0 ที่ใช้ในการวิเคราะห์พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของโปรแกรมเมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎี ได้ผลดังตารางที่ ก.4 ซึ่งมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกัน





ภาคผนวก ข

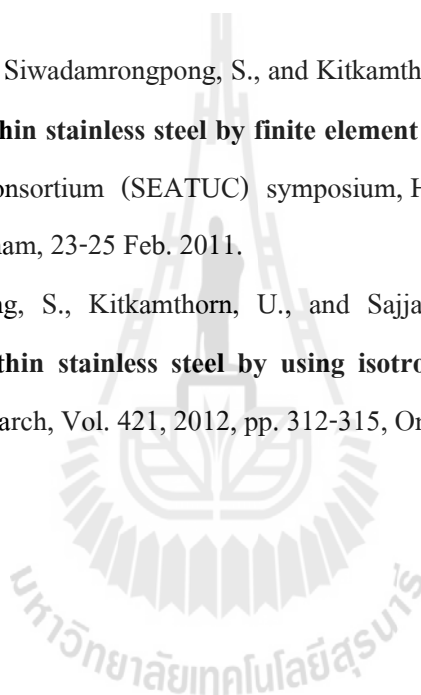
บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

Sajjawattana, C., Phethan, S., Thepayasuwan, N., Rindle, J., Borrisutthekul, R., Kitkamthorn, U., and Siwadamrongpong, S. (2010). **Computer Simulation of Mechanical Response of Suspension Processed by Bending and Heat Treatment**. The First TSME International Conference on Mechanical Engineering, Ubon Ratchathani, Thailand, 20-22 Oct. 2010.

Sajjawattana, C., Siwadamrongpong, S., and Kitkamthorn, U. (2011). **Effects of bending and heat treatment on thin stainless steel by finite element method**. The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) symposium, Hanoi University of Science and Technology, Hanoi, Vietnam, 23-25 Feb. 2011.

Siwadamrongpong, S., Kitkamthorn, U., and Sajjawattana, C. (2012). **Mechanical bending simulation of thin stainless steel by using isotropic and orthotropic properties**. Advanced Materials Research, Vol. 421, 2012, pp. 312-315, Online available since 6 Dec. 2011 at www.scientific.net.





Computer Simulation of Mechanical Response of Suspension Processed by Bending and Heat Treatment

Chaiyapak Sajjawattana¹, Sitthichai Phethan², Nattawut Thepayasuwan³, Johann Rindle³,
Rattana Borrisutthekul², Usanee Kitkamthorn², and Somsak Siwadamrongpong¹

¹ School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

² School of Metallurgical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, 30000

³ Magnecomp Precision Technology, Ayutthaya, Thailand 13170

* Corresponding Author: E-mail: tuta_tot@hotmail.com, k_usanee@sut.ac.th Tel: +6686 723 9493

Abstract

In suspension manufacturing, one of the most important factors is the suspension preload or so called "gramload". Such factor controls the flying height during the operation of the hard drive. The suspensions made of SUS304 stainless steel are formed in a metal die and further adjusted by mechanical bending until the gramload is in a certain range. Finally, fine gramload adjustment is carried out by laser treatment. Although such processing has been commercially applied to suspension production for many years, there is no clear explanation on the principle responsible for the change of the gramload due to bending and laser heat treatment. Therefore, the objective of this work was to study the effect of bending and further heat treatment on the mechanical behavior of thin SUS304 stainless steel sheet using the finite element method. The results of this work can be used explain the mechanical response of the suspension after bending and after heat treatment.

Keywords: Thin Stainless Steel, finite element method, gramload.

1. Introduction

To increase the areal densities in magnetic recording media such as disk in hard drive, many researches have been conducted to obtain a technology to reduce the fly height to only few nanometers or even sub-nanometers. The developed technologies lead to a more susceptible to reliability issues. The current productions of hard drive required 10 nm fly height to be achieved and one of the most important issues is the stability of sliders during operation. Slider is loaded and flying above (or below) the rotating disc during read/write operation. The stability of the slider is controlled by various parameters. The most important one

is the suspension preload referred as to "Gramload". Not only the materials properties but also the shape of the hinge of the suspension determines the gramload. Previous study [1] have been focused on 1) the extrinsic materials properties such as the prestress caused by bending and surface roughness and, 2) changes of the shape of the hinge. Both can be adjusted by laser treatment. It is however the surface of the materials of such area does not drastically change in our studied suspensions. Therefore, this study is aimed to better understand what causes the changes of the gramload.

The suspensions used in our study were initially processed by mechanical forming. The



gramload values were measured after forming. The suspensions were then subjected to further mechanical adjustment i.e. bending and were finally fine tuned with the laser treatment.

From the view point of materials science, such processing may cause the change of mechanical properties of materials. The materials used for suspension is SUS304 which is the austenitic stainless steel. The microstructure of this material can be altered by plastic deformation and thermal treatment. In the annealed condition, the microstructure of SUS304 mostly consists of austenite. After subjected to plastic deformation, the austenite transformed into α' -martensite. This cause some changes in elastic moduli since the elastic moduli of austenite and martensite are different [2]. One may estimate the elastic modulus of SUS304 consisting of both martensite and austenite by using rule of mixture as given by equation

$$E_{mix} = E_{(\gamma)}X_{(\gamma)} + E_{(\alpha')}X_{(\alpha')} \quad GPa \quad (1)$$

$$E_{(\gamma)} = 215.7 - 0.0692 \cdot T \quad GPa \quad (2)$$

$$E_{(\alpha')} = 237.3 - 0.0692 \cdot T \quad GPa \quad (3)$$

where $X_{(\gamma)}$ is volume fraction of γ
 $X_{(\alpha')}$ is volume fraction of α'
 $E_{(\gamma)}$ is young's modulus of γ
 $E_{(\alpha')}$ is young's modulus of α'
 T is temperature ($^{\circ}C$)

Although the difference between these values is not significant for most mechanical parts, but in the case of the hard drive suspensions which are fairly thin, such small difference may enough to alter the gramload of the suspension.

Therefore, this study was aimed to understand the role of both mechanical bending and the laser treatment on the changes of suspension shape and elastic modulus which in turn cause the change in gramload.

2. Experimental Procedures

This study was conducted by the measurements of gramload at each step of the processing and the comparison between the

measurement gramload values and the simulation gramload values.

2.1 The measurements of gramload

The gramload measurements were carried out after each step which is mechanical forming, mechanical bending adjustment, and laser treatment. For the laser treatment, the average power laser used was 4.355 W. The laser beam profile was TEM₀₀ and the beam size was 1 mm. in diameter. Only the hinge area was laser shined. The final measurement of gramload was carried out at various displacements in Z-axis.

2.2 Finite Element Method

Mechanical Simulation

The numerical simulations were performed using finite element simulation software ANSYS V12.0 [3]. Table 1 is the thermophysical and mechanical properties of SUS304. The material was assumed to be isotropic and incompressible during plastic deformation. Strain rate effects are neglected.

Table. 1 the thermophysical and mechanical properties of SUS304

Materials Properties		Unit
Young's Modulus	200	GPa
Poisson's ratio	0.29	MPa
Yield Strength	250	MPa
Density	7.85	kg/m ³
Thermal expansion	1.20E-05	1/ $^{\circ}C$
Specific heat	434	J/kg $^{\circ}C$

The gramload values of the suspensions were simulated at various conditions in order to study the effect of the difference in the parameters such as shape, and modulus of elasticity on the suspension gramload. Such conditions were listed below.

- The shapes of two suspensions were different i.e. the bended angles.
- Two suspensions had identical shapes but the moduli of elasticity of the hinges were



slightly different. The assumption of the difference in modulus of elasticity is based on the existence of α' -martensite after mechanical forming.

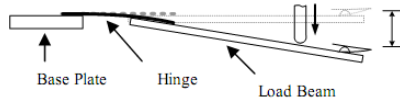


Fig. 1 Mechanical bending adjustment

Thermal Analysis

Thermal analysis was also carried out in order to obtain the temperature distribution and the distortion of the hinge part after laser treatment. The laser beam exhibited Gaussian distribution and thus the simulation assumed average power transmitted into the exposed area according to the equation [4];

$$\bar{q} = \frac{0.865AP}{\pi r^2} \quad (4)$$

where $\bar{q}$ is the mean heat flux density within the area of the laser beam, A is the absorption of the cold rolled stainless steel to laser was assumed to be 0.374. This value was measured by Bergström *et al.* [5]., P is the laser power, r is laser beam radius. Other assumptions are listed below [6];

a) Heat conduction in the specimen is considered whereas convection between contact boundary is neglected.

b) The latent heat due to phase changes is neglected.



Fig. 2 Heat treatment by laser process

3. Results and Discussion

3.1 Suspension gramload

The suspensions were mechanical formed into the preshape having a much higher bend angle than the final shape. The gramload values at different displacement in Z- axis were

measured and plotted in Figure 3. The suspensions were then subjected to further mechanical bending adjustment to obtain the closer values of both final shape and gramload. The bended angles become less after adjustment. The difference in gramload values of suspensions after mechanical forming and those after mechanical adjusted is usually in the range of 1 gram.

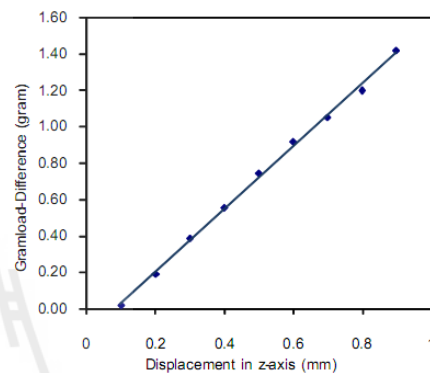


Fig. 3 The plot of the gramload difference versus different displacement in Z-axis. They exhibited linear relationship since the material was in the elastic deformation regime.

Fine gramload adjustment was carried out by laser treatment. This caused small changes in suspension shape and gramload. The changes in bended angles are usually less than 1° whereas the changes of the gramload are in the range of 0.01-0.02 gram.

3.2 Finite Element Method

Mechanical Simulation

a) By using the two suspension models having the difference in the bended angles of the hinges, the simulation results indicated that the gramloads were altered as shown in the plot of the difference in gramload versus the different bended angles in Fig. 4.

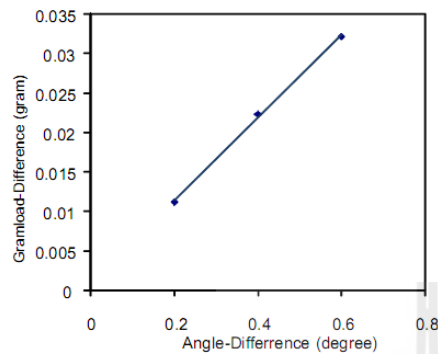


Fig. 4 Simulation results showing the difference in gramload versus the different bended angles.

b) In the case of the two suspensions having identical shapes but their moduli of elasticity were slightly different. The gramload changes significantly as shown in Fig 5.

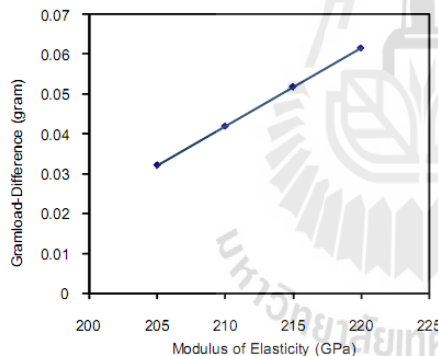


Fig. 5 The difference in gramload versus modulus of elasticity.

According to these results, the changes in gramload due to mechanical bending can be caused by both reasons. The mechanical bending adjustment in the manufacturing process produced a big difference in bended angles i.e. less bended angles and thus smaller in gramload. The plastic deformation accompanied with bending should be high enough to also cause some strain-induced martensite. In this case the gramload should have been increase. However, the gramload actually decrease so that the

decrease of gramload is rather caused by the changes of bended angle. The confirmation of strain-induced phase transformation by further microstructure investigation is underway.

Thermal Analysis Results

Figure 6 – 1, 6 - 2 shows the transient temperature distribution on hinge, base plate, and load beam, as a result of the laser treatment for 500 ms. The highest temperature was approximately 366.85°C. According to the result the retransformation from martensite back into austenite should not take place since previous studies reported that the required temperature for such retransformation is approximately above 550 °C. Although the highest simulation temperature seems to be high enough to cause discoloration as suggested by Ref. [7], but it is only few seconds that the material is at the high temperatures. Therefore, oxidation might occur slightly and cannot be detect by naked-eyes.

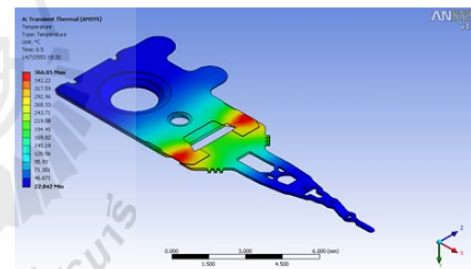


Fig. 6 - 1 The temperature distribution on hinge.

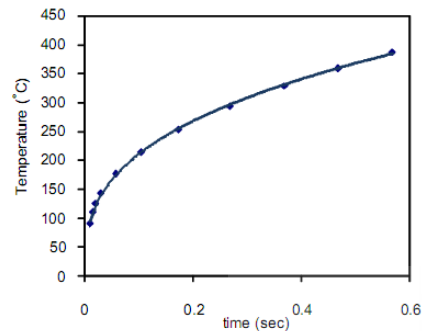


Fig. 6 - 2 Numerical solution of the temperature at the center of the laser heated surface on hinge.

The distortion of the suspension after exposed to the laser is however quite significant (Fig. 7) and thus this can attribute to the change in gramload of the suspension.

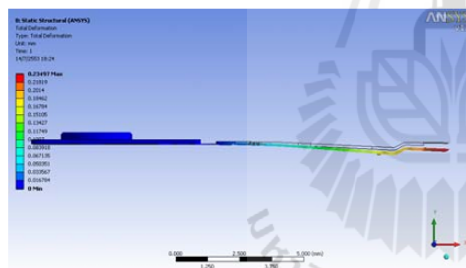


Fig. 7 The distortion of hinge after laser treatment 500 ms.

5. Conclusion

The simulated results showed that some small changes in elastic modulus led to significant changes in gramload. The differences in bended angle of the hinge also led to changes in gramload difference i.e. gramload decreased as the bending angle decreased. By using a laser treated on the hinge, the contraction during cooling resulted in slightly change of the bended angle and thus gramload could be slightly altered.

6. Acknowledgement

The authors would like to thank financially supported by the Industry/University Cooperative Research Center (I/U CRC) in HDD component, the Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, and National Electronics and computer Technology Center (NECTEC), Magnecomp Precision Technology (Thailand) Ltd.

7. References

- [1] Gurinder P. Singh, Byron R. Brown, Harald Werlich, and William Kozlovsky Laser Processing to Adjust the Suspension Preload of Magnetic Recording Head Stack Assemblies, *IEEE Transaction of magnetics*, 36, 5, September 2000
- [2] Y. Tomita, and T. Iwamoto. Constitutive modeling of trip steel and its application to the improvement of mechanical properties, *International Journal of Mechanical Science*, 37(12), 1995 pp.1295-1305.
- [3] Documentation for ANSYS and ANSYS Workbench release 12.0, ANSYS structural analysis and tutorial
- [4] Z. Hu, M. Labudovic, H. Wang, and R. Kovacevic. Computer simulation and experimental investigation of sheet metal bending using laser beam scanning, *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41, 2001, pp. 589-607.
- [5] D. Bergström, J. Powell, and A. F. H. Kaplan, "Absorptance of nonferrous alloys to Nd:YLF and Nd:YAG laser light at room temperature," *Appl. Opt.* 46, 1290-1301 (2007)
- [6] K. C. Lee, J. Lin (2002). Transient deformation of thin metal sheets during pulsed laser forming, *Optics & Laser Technology*, 34, 2002, pp. 639-648.
- [7] <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=140>

OS Number: 05

Effects of bending and heat treatment on thin stainless steel by finite element method

Chaiyapak Sajjawattana¹, Somsak Siwadamrongpong¹, and Usanee Kitkamthorn²

¹School of Mechanical Engineering and ²School of Metallurgical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

ABSTRACT

In suspension manufacturing, one of the most important factors is the suspension preload, also known as "gram load". Such factor controls the flying height during the operation of the hard drive. The suspensions made of SUS304 stainless steel are mechanical formed into preform and then further adjusted by mechanical bending until the gram load is in a certain range. Finally, fine gram load adjustment is carried out by applying heat treatment to the bended area. Although such processing has been commercially applied to suspension production for many years, there is unclear explanation on the principle responsible for the change of the gram load due to bending and laser heat treatment. The objective of this work was to study the effect of bending and further heat treatment on the mechanical behavior of thin SUS304 stainless steel sheet using the finite element method. Therefore, the results of this work could be used to explain and predict the mechanical response and heat treatment effects on the suspension manufacturing.

1. INTRODUCTION

The current productions of hard drive required 10 nm fly height to be achieved and one of the most important issues is the stability of sliders during operation. Slider are loaded and flying above (or below) the rotating disc during read/write operation. The stability of the slider is controlled by various parameters. The most important one is the suspension preload referred to as "Gramload". The suspensions are usually composed of 3 pieces of SUS304, which are base plate, hinge, and load beam as shown in Figure 1. The gramload values depend upon the materials properties and the shape of the hinge of the suspension. Previous study [1] have been focused on 1) the extrinsic materials

properties such as the prestress caused by bending and surface roughness and, 2) changes of the shape of the hinge. Both can be adjusted by laser heat treatment. It is however the surface of the materials of such area does not drastically change in our studied suspensions. Therefore, this study is aimed to better understand what causes the changes of the gramload.

The suspensions used in our study were preformed by mechanical forming. The gramload values were measured after forming. The suspensions were then subjected to further mechanical adjustment i.e. bending. Finally, the suspension gramloads were adjusted to the final value by the laser treatment at the hinge.

From the view point of metallurgy and materials science, such processing may cause the change in mechanical properties of materials. The materials used for suspension is SUS304 which is the austenitic stainless steel. The microstructure of this material can be altered by plastic deformation and thermal treatment. In the annealed condition, the microstructure of SUS304 mostly consists of austenite. After subjected to plastic deformation, the austenite transformed into α' -martensite. This cause some changes in elastic moduli since the elastic moduli of austenite and martensite are different [2]. The elastic modulus of SUS304 consisting of both martensite and austenite may be estimate simply by using rule of mixture as given by equation

$$E_{mix} = E_{(Y)}X_{(Y)} + E_{(\alpha')}X_{(\alpha')} \text{ GPa} \quad (1)$$

$$E_{(Y)} = 215.7 - 0.0692 \cdot T \text{ GPa} \quad (2)$$

$$E_{(\alpha')} = 237.3 - 0.0692 \cdot T \text{ GPa} \quad (3)$$

where $X_{(\gamma)}$ is volume fraction of γ
 $X_{(\alpha')}$ is volume fraction of α'
 $E_{(\gamma)}$ is young's modulus of γ
 $E_{(\alpha')}$ is young's modulus of α'
 T is temperature ($^{\circ}\text{C}$)

Although the difference between these values is not significant for most mechanical parts, but in the case of hinge in suspension which are fairly thin (about $20\ \mu\text{m}$), such small difference may alter the gramload of the suspension, significantly.

Therefore, this study was aimed to understand the role of both mechanical bending and the laser treatment on the changes of suspension shape and elastic modulus which in turn cause the change in gramload.

2. EXPERIMENT

The gramload values after finish each step of the processing were measured experimentally and simulated. The results were then compared. Details of the suspension processing and the simulation are as follows.

2.1 The measurements of gramload in suspension processing

The gramload measurements were carried out after each step which are mechanical forming, mechanical bending adjustment, and laser treatment. For the laser treatment, the average power laser used was 4.355 W. The laser beam profile was TEM_{00} and the beam size was 1 mm. in diameter. Only the hinge area was laser shined. The final measurement of gramload was carried out at various displacements in Z-axis.

2.2 Finite Element Method

Mechanical Simulation

The numerical simulations were performed using finite element simulation software ANSYS V12.0. The Johnson-Cook plasticity model was used for prediction of the response of materials. The equivalent Von Mises flow stress σ is given by the equation (4);

$$\sigma = (A + B\varepsilon^n)(1 + C\varepsilon^*) \quad (4)$$

where ε is the equivalent plastic strain, $\varepsilon^* = \dot{\varepsilon} / \dot{\varepsilon}_0$ is the dimensionless plastic strain for $\dot{\varepsilon}_0 = 1\ \text{S}^{-1}$. A, B, C, and exponent n are four material constants which are initial yield stress, hardening constant, strain rate constant and hardening exponent, respectively. Table 1 shows material properties and Johnson-Cook parameters of SUS304 [3], which used for FEM simulation. Adaptive mesh was used. The base plate and load beam were modeled with 3D solid elements whereas the hinge was modeled with shell element model.

Table.1 The material properties and Johnson-Cook parameters of SUS304

Materials Properties		Unit
Young's Modulus	200	GPa
Poisson's ratio	0.29	MPa
Yield Strength	250	MPa
Density	7.85	kg/m^3
Thermal expansion	$1.20\text{E-}05$	$1/^{\circ}\text{C}$
Specific heat	434	$\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$
A	310	MPa
B	1000	MPa
C	0.07	
n	0.65	

The gramload values of the suspensions were simulated at various conditions in order to study the effect of the difference in the parameters such as shape, and modulus of elasticity on the suspension gramload. Such conditions were listed below.

a) The shapes of two suspensions were different i.e. the difference in bending angles of hinges.

b) Two suspensions had identical shapes but the moduli of elasticity of the hinges were slightly different. The assumption of the difference in modulus of elasticity is based on the existence of α' -martensite after mechanical forming.

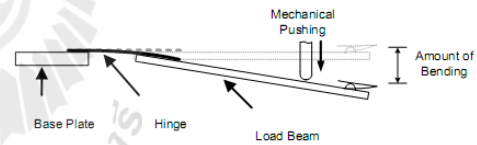


Fig. 1 Mechanical bending adjustment

Thermal Analysis

Thermal analysis was also carried out in order to obtain the temperature distribution and the distortion of the hinge part after laser treatment. The laser beam exhibited Gaussian distribution and thus the simulation assumed average power transmitted into the exposed area according to the equation [5];

$$\bar{q} = \frac{0.865AP}{\pi r^2} \quad (5)$$

Where $\bar{q}$ is the mean heat flux density within the area of the laser beam, A is the absorption of the cold rolled stainless steel to laser was assumed to be 0.374. This value was measured by Bergström *et al.* [5], P is the laser power, r is laser beam radius. Other assumptions are listed below [6];

a) Heat conduction in the specimen is considered whereas convection between contact

boundaries is neglected.

b) The latent heat due to phase changes is neglected.

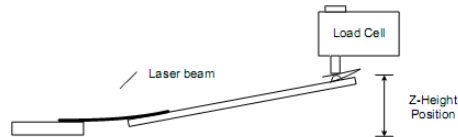


Fig. 2 Heat treatment by laser process

3. ANALYSIS

3.1 Measured Suspension gramload

The suspensions were mechanical formed into the preforms having a much higher bend angle than the final shape. The gramload values at different displacements in Z- axis were measured and were reported in the form of gramload-difference values (compared with the initial gramload value at the reference height) as shown in Figure 3. The gramload versus displacements in Z- axis exhibited linear relationship since the materials was in the elastic deformation regime. The gramload-difference values obtained from FEM simulation results are also shown in Figure 3. It can be seen that both experimental and simulation results show the linear relationship between gramload-difference values and different displacement in Z- axis. The gramload-difference values predicted by simulation is however higher than those found experimentally.

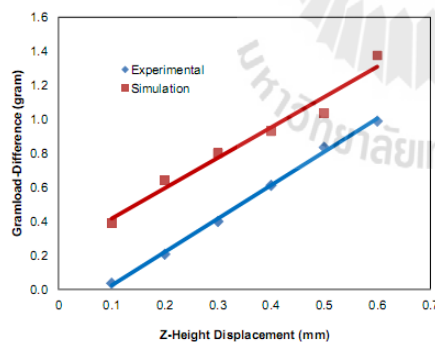


Fig.3 The gramload difference versus different displacement in Z-axis, which obtained experimentally, and from the FEM simulation.

The preforms were subjected to further mechanical bending adjustment to obtain the closer values of gramload. The bending angles of hinges become less after mechanical adjustment. The difference in gramload values of suspensions after mechanical forming and those after mechanical

adjusted is usually in the range of 1 gram. Fine gramload adjustment was carried out by laser treatment. This caused small changes in suspension shape and gramload. The changes in bending angles are usually less than 1° whereas the changes of the gramload are in the range of 0.01-0.02gram.

3.2 Finite Element Method

Mechanical Simulation

a) By using the two suspension models having the difference in the bended angles of the hinges, the simulation results indicated that the gramload values at Z-height were different as shown in Fig. 4. The increase of bending angle increases the gramload values at Z-height.

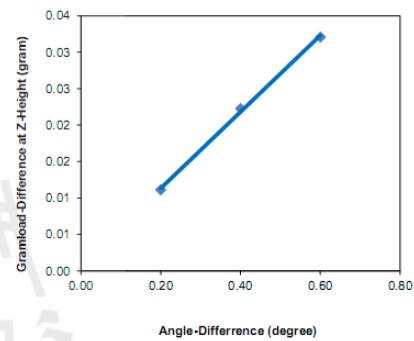


Fig.4 Simulation results showing the difference in gramload versus the different bended angles.

b) In the case of the two suspensions models having identical shapes but their moduli of elasticity were slightly different. The gramload at Z-height changes significantly as shown in Fig 5.

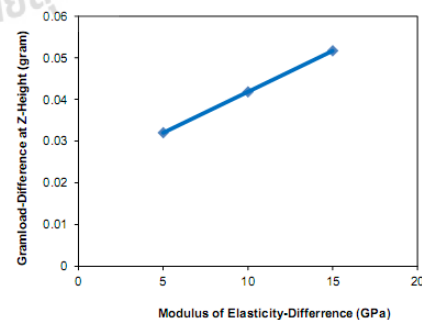


Fig.5 The difference in gramload versus modulus of elasticity difference.

According to these results, the changes in gramload due to mechanical bending can be caused by both reasons. The mechanical bending adjustment in the manufacturing process produced a big difference in bended angles i.e. less bended angles and thus the gramload decrease. The plastic deformation accompanied with bending should be high enough to also cause some strain-induced martensite. In the latter case the gramload should have been increased. However, the gramload actually decrease so that the decrease of gramload is rather caused by the changes of bended angle. The confirmation of strain-induced phase transformation by further microstructure investigation is underway.

Thermal Analysis Results

Figure 6 – 1, and 6 - 2 show the transient temperature distribution on hinge, base plate, and load beam, as a result of the laser treatment for 500 ms. The highest temperature was approximately 366.85 °C. According to the result the retransformation from martensite into austenite should not take place since previous studies reported that the required temperature for such retransformation is approximately above 500 °C [6]. Although the highest simulation temperature seems to be high enough to cause discoloration as suggested by Ref. [7], but it is only few seconds that the material is at the high temperatures. Therefore, oxidation might occur slightly and cannot be detect by naked-eyes.

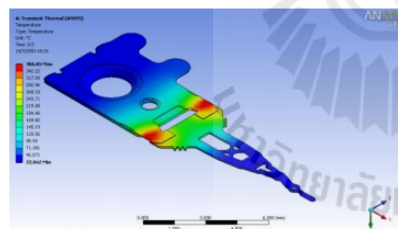


Fig. 6 - 1 The temperature distribution on hinge.

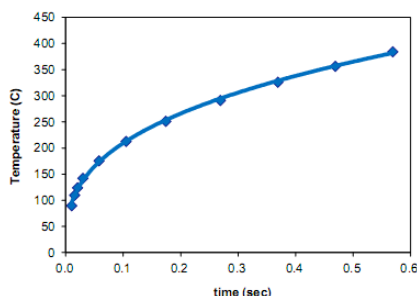


Fig. 6 - 2 Numerical solution of the temperature at the center of the laser heated surface on hinge.

The distortion of the suspension after exposed to the laser is quite significant (Fig. 7) and thus this may attribute to the change in gramload of the suspension. Further analysis will be conducted

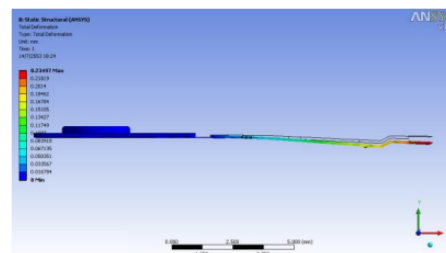


Fig.7 The distortion of hinge after laser treatment 500 ms.

CONCLUSION

The simulated results indicated that small changes in elastic moduli lead to significant changes in gramload. The differences in bended angle of the hinge also led to changes in gramload difference i.e. gramload decreased with decreasing bending angle.. By using a laser treated on the hinge, the contraction during cooling resulted in slightly change of the bended angle and thus gramload could be slightly altered.

ACKNOWLEDGEMENT

The authors would like to thank financially supported by the Industry/University Cooperative Research Center (I/U CRC) in HDD component, the Faculty of Engineering, Suranaree University of Technology, and National Electronics and computer Technology Center (NECTEC), Magnecomp Precision Technology (Thailand) Ltd for supplied suspension and equipment for measurement gramload.

REFERENCES

- [1] Gurinder P. Singh, Byron R. Brown, Harald Werlich, and William Kozlovsky, "Laser Processing to Adjust the Suspension Preload of Magnetic Recording Head Stack Assemblies," *IEEE Transaction of magnetics*, 36, 5, September 2000.
- [2] Y. Tomita, and T. Iwamoto, "Constitutive modeling of trip steel and its application to the improvement of mechanical properties," *International Journal of Mechanical Science*, 37(12), 1995 pp.1295-1305.
- [3] S. Y. Ahmadi-Brooghani, H. Hassanzadeh, and P. Kahhal, "Modeling of Single-Particle Impact in brasive Water Jet Machining", *World Academy of Science, Engineering and Technology* 36, 2007

- [4] Z. Hu, M. Labudovic, H. Wang, and R. Kovacevic. "Computer simulation and experimental investigation of sheet metal bending using laser beam scanning", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 41, 2001, pp. 589–607.
- [5] D. Bergström, J. Powell, and A. F. H. Kaplan, "Absorptance of nonferrous alloys to Nd:YLF and Nd:YAG laser light at room temperature," *Appl. Opt.* **46**, 1290-1301 (2007)
- [6] Seiki Takahashi , Junichi Echigoya, Terushige Ueda, Xingguo Li, and Hiroshi Hatafuku. "Martensitic transformation due to plastic deformation and magnetic properties in SUS 304 stainless steel" ,*Journal of Materials Processing Technology*, 108 (2001), pp. 213–216
- [7] K. C. Lee, J. Lin (2002). "Transient deformation of thin metal sheets during pulsed laser forming", *Optics & Laser Technology*, 34, 2002, pp. 639-648.
- [8] <http://www.bssa.org.uk/topics.php?article=14>



Mechanical bending simulation of thin stainless steel by using isotropic and orthotropic properties

Somsak Siwadamrongpong^{1,a}, Usanee Kitkamthorn^{2,b}
 and Chaiyapak Sajjawattana^{3,c}

¹School of Manufacturing Engineering, ²School of Metallurgical Engineering,

³School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering,
 Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand

^aemail : somsaksi@sut.ac.th ^bemail : k_usanee@sut.ac.th ^cemail : tuta_tot@hotmail.com

Keywords: Mechanical bending, Thin stainless steel, Isotropic, Orthotropic, Finite element method.

Abstract. The most important factors in hard disk drive suspension manufacturing is the suspension preload, so call "gram load". The suspensions were generally made from cold rolled stainless steel (SUS304). The suspensions were formed by mechanical forming and gram load was adjusted by mechanical bending until reached a specification. The material properties in mechanical bending simulation of thin stainless steel were usually as isotropic for simple calculation. But the properties of thin stainless steel should be defined as orthotropic materials. Therefore, this work aimed to study gram load results of using isotropic and orthotropic properties. The thin stainless sheet was cut and test for mechanical properties in rolling and transverse directions. The properties of the thin sheet were applied to simulation model. It was found that orthotropic material properties shows a good agreement with the experimental results more than using isotropic material properties. Therefore, the results of this work could be used to explain and predict the mechanical response on the suspension manufacturing.

Introduction

The current productions of hard drive required nearly 10 nm fly height. One of the most important issues is the stability of sliders during operation. Slider are loaded and flying above (or below) the rotating disc during read/write operation. The stability of the slider is controlled by various parameters. The most important one is the suspension preload referred to as "gram load". The suspensions are usually composed of 3 pieces, base plate, hinge and load beam made from SUS304 as shown in Figure 1. The important part is hinge, made from cold roll stainless steel, controlled the fly height of suspension. Previous study [1] shows that the gram load of suspension was determined by extrinsic materials properties and geometry such as the pre-stress from bending, surface roughness and the shape of hinge of the suspensions. The manufacturing of thin stainless steel sheet has made by cold rolling processes which the mechanical properties of thin sheet are depends on the direction of rolling. Most of researches [2], [3] were defined the thin stainless steel sheet as an isotropic material because it is easier than defined as orthotropic material for calculation. Therefore, this study is aimed to better understand by comparing the simulation results of gram load between using material property as isotropic and orthotropic materials.

Materials and Methods

The stainless steel sheets, thickness of 0.025 mm, grade SUS304, used as the specimens in this study. The thin sheet was cut into dumbbell shape in two directions; the rolling (Rolled) and across the rolling (Transverse) directions. These specimens were use for tensile testing to achieve mechanical properties of the thin sheet in both directions.

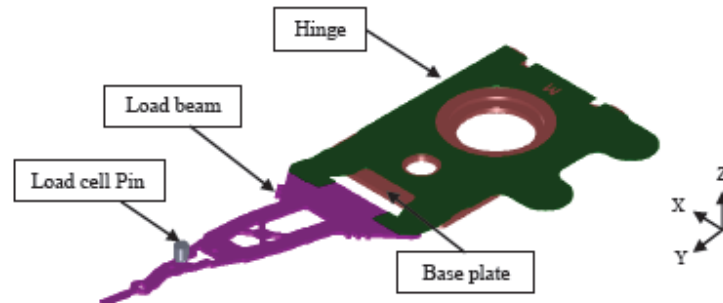


Fig. 1 The 3D geometry of suspension

Tensile testing is followed the standard tensile testing specimen ASTM E8. Strain Gauges were installed in the horizontal and vertical direction as shown in Figure 2. The experimental data were shown in Figure 3 and Figure 4 used to defined the materials properties of specimen e.g. Young's modulus (E) and Poisson's ratio of thin stainless steel sheet by using eq. (1) and (2), respectively

$$E_y = \frac{d(stress)}{d(strain)} ; \quad \text{Young's modulus} \quad (1)$$

$$\nu_y = \frac{dE_{horizontal} / dL}{dE_{vertical} / dL} ; \quad \text{Poisson's ratio} \quad (2)$$

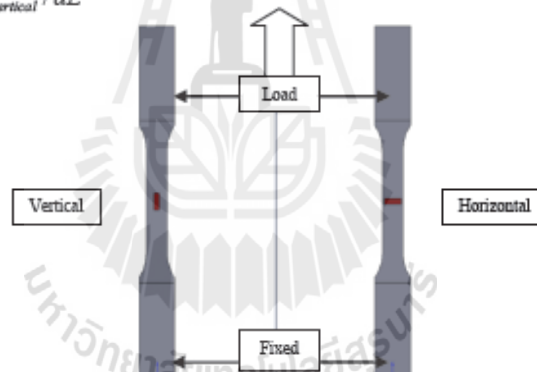


Fig. 2 The direction of strain gauge on specimen as ASTM E8

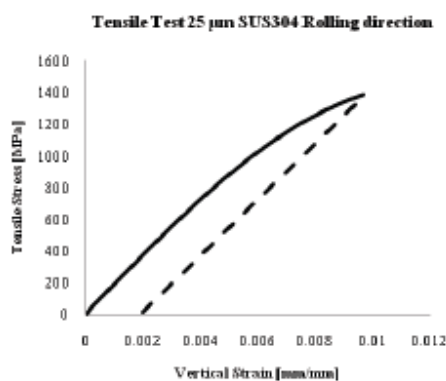


Fig. 3 Shows the relationship between stress and strain along the rolling direction.

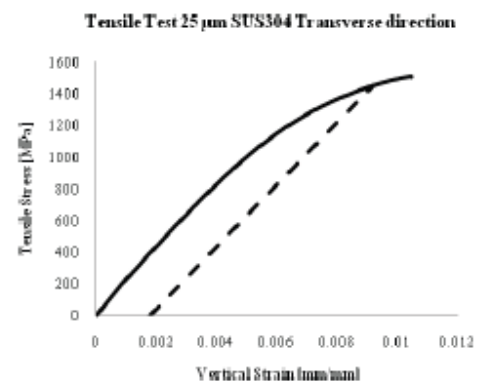


Fig. 4 Shows the relationship between stress and strain along the transverse direction.

The Young's modulus and Poisson's ratio values were calculated in a range of 300-500 MPa tensile stress by using eq. (1) and eq. (2) and showed in Table. 1.

Table. 1 The material properties of SUS304 thickness 0.025 mm.

Material Property	Young's modulus [MPa]	Poisson's ratio
Isotropic	207	0.32
Orthotropic		
-Rolling	181	0.24
-Transverse	207	0.32

Gram load testing. The hinge of suspension was bended from manufacturing process at several angles which defined by height from reference level [4]. For testing, the suspension was fixed by jig at the base plate as shown in Figure 5. The load cell were installed above the suspension (see Figure. 1) and measured the gram load while the pin moving from the reference level for 1 mm.

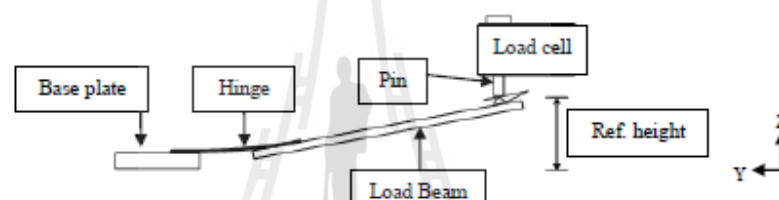


Fig. 5 Gram load measurement with load cell at reference height

Finite Element Analysis. The 3D geometry of suspension was generating by CAD program shown in Figure 1. The numerical simulations were performed using finite element simulation software ANSYS V12.0 [5]. The base plate and pin assumed to be the rigid body and were modeled as 3D solid elements and using the adaptive mesh, whereas the hinge was modeled as shell element. The material properties of SUS304 used the experimental data from Table.1. The simulation process was shown in Figure 6.

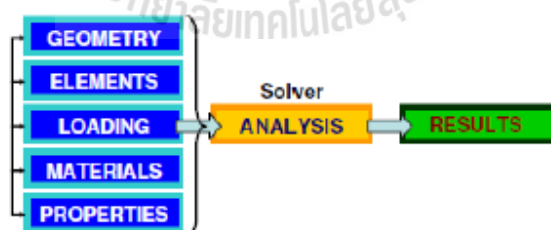


Fig. 6 The step of simulation process.

Results

The relation between gram load and displacements in Z-axis is linear function since the material behavior is in the elastic deformation regime. The gram load values obtained from FEM simulation results are shown in Figure 7. The both experimental and simulation results shown the linear relationship. The simulation results by using orthotropic and isotropic properties predicted the gram load value higher than the experimental value but orthotropic simulation can be represent better than the isotropic simulation.

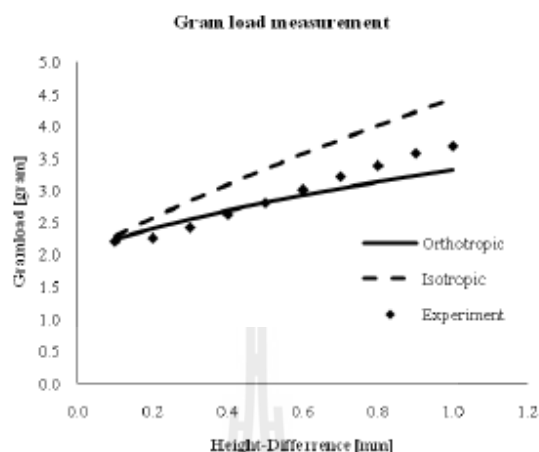


Fig. 7 The gram load versus displacements in Z- axis

Conclusion

The results obtained from the gram load simulations by using orthotropic material properties has a good agreement with the experimental results more than using isotropic material properties. Therefore the properties of suspension should be defined by orthotropic materials. Because of the properties of stainless steel sheet depend on the thickness and manufacturing process.

Acknowledgements

The authors would like to thank financially supported by Industry/University Cooperative Research Center (I/U CRC) in HDD component, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, National Electronics and computer Technology Center (NECTEC) and Magnecomp Precision Technology (Thailand) Ltd for supplied suspension and equipment for measurement gram load.

References

- [1] Gurinder P. Singh, Byron R. Brown, Harald Werlich, and William Kozlovsky : *Laser Processing to Adjust the Suspension Preload of Magnetic Recording Head Stack Assemblies*, IEEE Transaction of magnetics, 36, 5, September 2000.
- [2] L.P. Lei, S.M. Hwang, B.S. Kang : *Finite element analysis and design in stainless steel sheet forming its experimental program*, Journal of Materials Processing Technology, 110, (2001), p. 70-77.
- [3] K.C. Lee, J. Lin : *Transient deformation of thin metal sheets during pulsed laser forming*, Optics & laser Technology, 34, (2002), p. 639-648.
- [4] Kheunkhieo P. and Tangchaichit K. : *3-Dimensional Stress Analysis of a Ball Swaging Process Using the Finite Element Method*, KKU Research Journal, 15 ,7, July 2010, p. 581-591.
- [5] Documentation for ANSYS and ANSYS Workbench release 12.0, ANSYS structural analysis and tutorials.

Advanced Design Technology

10.4028/www.scientific.net/AMR.421

Mechanical Bending Simulation of Thin Stainless Steel by Using Isotropic and Orthotropic Properties

10.4028/www.scientific.net/AMR.421.312



ประวัติผู้เขียน

นายชัยภักดิ์ ศัจจวัฒนา เกิดเมื่อวันที่ 21 กันยายน 2529 ที่อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนเทศบาล 1 (บูรพาวิทยากร) จังหวัดนครราชสีมา และมัธยมศึกษาปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนบุญวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาวិชากรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเครื่องกล) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2550 และได้ศึกษาต่อระดับวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันการศึกษาเดิม ขณะศึกษาได้เป็นผู้สอนปฏิบัติการของสาขาวิชาเครื่องกล จำนวน 4 รายวิชาได้แก่ (1) ปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล (2) ปฏิบัติการวิศวกรรมการผลิต (3) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 1 และ (4) วิชาเขียนแบบวิศวกรรม 2 ในระหว่างศึกษาได้มีการนำเสนอผลงานวิชาการ 3 เรื่อง ดังนี้

The First TSME International Conference on Mechanical Engineering (2010).

ในหัวข้อ “Computer Simulation of Mechanical Response of Suspension Processed by Bending and Heat Treatment”, 20-22 Oct. 2010, Ubon Ratchathani, Thailand.

The 5th South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) symposium (2011). ในหัวข้อ “Effects of bending and heat treatment on thin stainless steel by finite element method”, 23-25 Feb. 2011, Hanoi, Vietnam.

The 2nd International Conference on Advances in Materials and Manufacturing Processes (2011). ในหัวข้อ “Mechanical bending simulation of thin stainless steel by using isotropic and orthotropic properties”, 16-18 Dec. 2011, Guilin, China.