

การวิเคราะห์การใช้อัลตราโซนิกไวก์เบอร์ชันในกระบวนการเสวงด้วยลูกบอล
สำหรับการประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไตร์ฟ
ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2561

**ANALYSIS OF USING ULTRASONIC VIBRATION ON
BALL SWAGING PROCESS FOR HEAD STACK
ASSEMBLY OF HARD DISK DRIVE BY FINITE
ELEMENT METHOD**



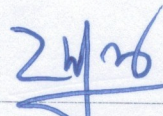
**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Mechatronics Engineering
Suranaree University of Technology**

Academic Year 2018

การวิเคราะห์การใช้อัลตราโซนิกไวกเวเบอร์ชันในกระบวนการเสวจด้วยลูกบอล
สำหรับการประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์
ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รศ. ดร. บัณฑิต กฤตาคม)

ประธานกรรมการ



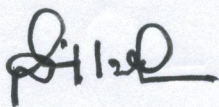
(อ. ดร. ธีทัต ดลวิชัย)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)



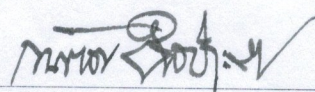
(รศ. ดร. จีระพล ศรีเสริฐผล)

กรรมการ



(ศ. ดร. สันติ แม่นศิริ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและพัฒนาความเป็นสากล



(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ชัช ชัยบุญ : การวิเคราะห์การใช้อัลตราโซนิกไวเบอร์ชันในกระบวนการเสวงด้วยลูกบอล
สำหรับการประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิ
เมนต์ (ANALYSIS OF USING ULTRASONIC VIBRATION ON BALL SWAGING
PROCESS FOR HEAD STACK ASSEMBLY OF HARD DISK DRIVE BY FINITE
ELEMENT METHOD) อาจารย์ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.ธีรทัต คลวิชัย, 71 หน้า.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และวิเคราะห์การนำอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันมา
(Ultrasonic vibration) ประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการเสวงด้วยลูกบอล (Ball swaging process) ใน
การประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูล (Head Stack Assembly) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard disk drive)
เพื่อนำผลที่ได้มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนา และลดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเสวงใน
ปัจจุบัน มูลเหตุจูงใจมาจากปริมาณส่วนของเสียที่สูงถึง 0.27% ซึ่งถือเป็นตัวเลขการเกิดของเสียที่
สูงมากสำหรับกระบวนการประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูล

ของเสียที่เกิดขึ้นมีสาเหตุมาจากไดรเวอร์พิน (Driver pin) โกงตัวและไปเบียดกับเฮจจีเอ
บอส (HGA boss) จนเสียรูป จากข้อมูลพบว่าจะเริ่มมีของเสียเกิดขึ้นเมื่อแรงที่ใช้ในกระบวนการ
เสวง (Swage force) มีขนาดตั้งแต่ 305 นิวตันขึ้นไป ปัญหานี้ยังไม่สามารถแก้ไขให้หมดไปได้โดย
ส่วนหนึ่งเป็นผลเนื่องมาจากเทคโนโลยีของกระบวนการเสวงที่ใช้ยู่ก่อนข้างล้ำสมัยทำให้ขาด
ความยืดหยุ่นในการปรับใช้งาน ดังนั้นการนำอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้า
มาประยุกต์ใช้จึงเป็นวิธีในการแก้ปัญหาที่น่าสนใจ มีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาและทดลอง
เกี่ยวกับการนำอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันมาประยุกต์ใช้เพื่อเป็นการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการ
ผลิต ผลลัพธ์ที่ได้มีความน่าสนใจและเป็นไปในเชิงบวกซึ่งสอดคล้องกับสิ่งที่กระบวนการเสวง
ต้องการพัฒนา และปรับปรุง

การดำเนินการวิจัยเป็นการนำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เข้ามาช่วยในการศึกษา และ
วิเคราะห์ผลโดยมุ่งเน้นไปที่การศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่มีผลต่อ
ขนาดของแรงที่ใช้ในกระบวนการเสวง โดยผลที่ได้พบว่าอิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน
สามารถช่วยลดแรงที่ใช้ในกระบวนการเสวงได้สูงสุดถึง 53.49%

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2561

ลายมือชื่อนักศึกษา

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

CHAT CHAIBOON : ANALYSIS OF USING ULTRASONIC VIBRATION
ON BALL SWAGING PROCESS FOR HEAD STACK ASSEMBLY OF
HARD DISK DRIVE BY FINITE ELEMENT METHOD. THESIS
ADVISOR : TEETUS DOLWICHAI, Ph.D., 71 PP.

ULTRASONIC VIBRATION/BALL SWAGING PROCESS/SWAGE FORCE/
HEAD STACK ASSEMBLY

This research aims to study and analyze the integration of ultrasonic vibration on ball swaging process in head stacking assembly (HSA) of the hard disk drive (HDD), and its result will be used as an alternate approach to develop the traditional ball swaging process and reduce the nonconforming parts in HSA manufacturing process which running about 0.27% in average. A vast defective rate is the impulsion to looking for the alternate approaches.

The nonconforming parts caused by the driver pin bent from its normal position and damage to the adjacent HGA boss. It found that all of the rejected samples were subjected to the higher swage force which higher than 305 N. The current equipment's technology of ball swaging process is outdated, the optimization on it does not help to fix the problem. Therefore, the integration of new technology on the current ball swaging process is a favorable solution to develop the current process and reduce the defective rate.

Many pieces of research studied the integration of ultrasonic vibration on the traditional process, and its result was remarkable and showed that the influence of ultrasonic vibration could reduce the forming force which according to the approach of ball swaging process.

The research was carried out by using Finite Element Method, the simulation study and analysis focused in the influence of ultrasonic vibration and its parameters on the swage force. The result showed that the influence of ultrasonic vibration induces swage force to lower, and the maximum reduction is 53.49%.



School of Mechanical Engineering

Academic Year 2018

Student's Signature

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ธิตต์ คลวิชัย อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา คำแนะนำ ในการดำเนินงานวิจัย การเขียน และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ อีกทั้งยังให้ความช่วยเหลือในการไปร่วมงานการประชุมวิชาการระดับนานาชาติที่ประเทศญี่ปุ่น

ขอกราบขอบพระคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยได้สำเร็จและได้มีความรู้ความสามารถเพื่อนำไปใช้การทำงาน และประยุกต์ใช้ในการดำเนินชีวิตประจำวัน

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่สาว ที่ได้เลี้ยงดู ให้การอบรมสั่งสอนในการดำเนินชีวิตและสนับสนุนส่งเสริมในด้านการศึกษา ตลอดมา จนประสบความสำเร็จในวันนี้และขอบคุณภรรยาที่ขอมสละเวลาและขอมเหนื่อยมากขึ้นในการดูแลลูก ๆ ทั้งสองคนและคอยให้กำลังใจเป็นอย่างดีเสมอมาเพื่อให้ผู้วิจัยได้มีเวลาในการเรียนและดำเนินการวิจัยจนสำเร็จ

คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา และผู้มีส่วนร่วมในการสนับสนุนทุกท่าน

ชัช ชัยบุญ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่	
1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 ความสำคัญของการวิจัย	5
1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	7
1.4 สมมุติฐานของการวิจัย	7
1.5 ขอบเขตการวิจัย	8
1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น	8
2 ปรัชญาวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์	9
2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์	11
2.3 ความสมบูรณ์ของเมช	12
2.3.1 สัดส่วนของเมช	12
2.3.2 ความเบ้ของเมช	13
2.3.3 Jacobian	14
2.4 สมการไฟไนต์เอลิเมนต์	14
2.5 ความเค้น (Stress)	17
2.6 ความเครียดและการเปลี่ยนรูป (Strain and Deformation)	18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress Strain Relationship).....	20
2.8	เปรียบเทียบ Engineering Stress- strain กับ True stress-strain.....	22
2.9	การเปลี่ยนรูปของวัสดุ (Material Deformation).....	23
2.9.1	การเปลี่ยนรูปแบบอีลาสติก.....	24
2.9.2	การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation).....	25
2.10	การแปลงความเค้น (Stress Transformation).....	27
2.11	วงกลมมอร์สำหรับความเค้นในระนาบ (Mohr's circle for plane stress).....	30
2.12	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	31
2.12.1	อัลตราโซนิกไวเบรชันมากับการขึ้นรูปแบบ Single point.....	32
2.12.2	อัลตราโซนิกไวเบรชันกับการขึ้นรูปแบบ Extrusion.....	34
2.12.3	อัลตราโซนิกไวเบรชันกับการขึ้นรูปแบบ Upsetting.....	36
2.12.4	อัลตราโซนิกไวเบรชันกับทดสอบ Tension และ Compression test.....	39
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	42
3.1	การเตรียม Simulation Model.....	42
3.2	กำหนดจุดอ้างอิงสำหรับจับยึดและจุดรับแรงให้กับแบบจำลอง.....	43
3.3	กำหนดคุณสมบัติของวัสดุให้กับแบบจำลอง.....	44
3.4	สร้างเมช (Mesh) ให้กับแบบจำลอง.....	44
3.5	กำหนดรูปแบบการสัมผัส (Contact Type) ให้กับแบบจำลอง.....	45
3.6	กำหนดตัวแปรในการวิเคราะห์.....	47
3.6.1	ช่วงเวลาในการจำลองการทำงาน.....	47
3.6.2	ความเร็วสูงสุดในการขับเคลื่อนและถอยกลับของแกนขับเคลื่อน.....	48
3.6.3	ขนาด (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของอัลตรา โซนิกไวเบรชัน.....	49
3.6.4	ลักษณะการเคลื่อนที่ของแกนขับเคลื่อนแบบความเร็วแปรผันตามเวลา.....	50
3.7	การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองการทำงาน.....	50
3.8	หัวข้อที่นำมาสรุปและวิเคราะห์ผล.....	50

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4 ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล	51
4.1 บทนำ.....	51
4.2 แรงที่ใช้ในการจับลูกบอลที่ได้จากการจำลองการทำงาน.....	51
4.3 แรงที่ใช้ในการจับลูกบอลจากกระบวนการเสวจริง.....	52
4.4 เปรียบเทียบค่าแรงจากการจำลองกับค่าที่ได้จากกระบวนการเสวจริง.....	53
4.5 เปรียบเทียบค่าแรงจากการปรับขนาดของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่ต่างกัน.....	53
5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	56
5.1 อิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่มีต่อแรงที่ใช้ในการจับลูกบอล.....	56
5.2 ค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลกับแผ่นรองหัวอ่านเขียนข้อมูล.....	57
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	58
รายการอ้างอิง.....	59
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	63
ประวัติผู้เขียน.....	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 อัตราการเสียหายของเซพจีเอบอส.....	4
3.1 ชนิดและคุณสมบัติด้านกลศาสตร์ของวัสดุแต่ละชั้นส่วน.....	44
3.2 จำนวนของเอลิเมนต์และความสมบูรณ์ของเอลิเมนต์ของชั้นส่วนแต่ละชั้น.....	45
4.1 เปรียบเทียบค่าค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอล.....	53
4.2 เปรียบเทียบค่า Contact Force เมื่อปรับเปลี่ยน Amplitude.....	55

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 (ก) ฮาร์ดดิสก์ไครฟ์ (VICTOR, 2017), (ข) หัวอ่านเขียนข้อมูล (Damjanović, 2015).....	1
1.2 ส่วนประกอบหลักของหัวอ่านเขียนข้อมูล (ก) อาร์ม, (ข) เซชจีเอ.....	2
1.3 แสดงลักษณะของแรงจับยึดระหว่างเซชจีเอบอสกับอาร์ม (Jongpradist, Rojbunsongsri, & Chatchapol, 2009).....	2
1.4 ภาพแสดงขั้นตอนการทำงาน โดยรวมของกระบวนการเสวง.....	3
1.5 ภาพเปรียบเทียบเซชจีเอบอสที่เสียหายกับเซชจีเอบอสที่สมบูรณ์.....	4
1.6 ภาพเปรียบเทียบลักษณะของชิ้นงานหลังขึ้นรูป (ก) แบบวิธีการธรรมดา, (ข) แบบนำอัลตราโซนิกเข้ามาประยุกต์ใช้ใน (Amini, Gollo, และ Paktinat, 2017).....	6
1.7 เปรียบเทียบแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปแบบธรรมดาและแบบนำอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันเข้ามาประยุกต์ใช้ (Amini, Gollo, และ Paktinat, 2017).....	6
1.8 กระบวนการเสวง (ก) แบบประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน, (ข) แบบธรรมดา.....	7
2.1 การแบ่งชิ้นงานออกเป็นส่วนขนาดเล็กๆ ที่มีรูปทรงเป็นเรขาคณิต (Pripaisankij, 2017).....	9
2.2 (ก) รูปต้นแบบ, (ข) ลบสี่เหลี่ยมที่ไม่สมบูรณ์ออก, (ค) เขียนส่วนของสี่เหลี่ยมที่ไม่สมบูรณ์ให้เต็ม (Pripaisankij, 2017).....	9
2.3 ลดขนาดของสี่เหลี่ยมแต่ละก้อนให้เล็กลงเพื่อให้รูปทรงสุดท้ายหลังการแบ่งส่วนของชิ้นงานมีความใกล้เคียงกับรูปทรงดั้งเดิม (Pripaisankij, 2017).....	10
2.4 แสดงให้เห็นลักษณะของเอลิเมนต์และชุดต่อหลังการแบ่งเมช (MidasUser, n.d.).....	10
2.5 ชนิดของ Element และชื่อเรียกของแต่ละชนิด (Christopher, 2018).....	11
2.6 ขั้นตอนในการวิเคราะห์โดยใช้ FEA Software (Kurowski, 2019).....	12
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงกับค่า Aspect Ratio ของ Mesh (thaimetrodes, 2018).....	13
2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงกับค่าความเบ้ของเมช (thaimetrodes, 2018).....	13
2.9 ความสัมพันธ์ระหว่างรูปทรงกับค่า Jacobian ของเมช (thaimetrodes, 2018).....	14
2.10 รูปแบบของ Governing equation และ Finite element equation (Dean, 2014).....	15
2.11 ตัวอย่างสำหรับปัญหาด้านกลศาสตร์แบบ 1 มิติ (เดชะอำไพ, 2019).....	16

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.12 รูปแบบของความเค้น (Stress) (พรเฉลิมพงศ์, 2019).....	18
2.13 ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain).....	19
2.14 ความเครียดเฉือน (Shear Strain).....	20
2.15 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียด.....	21
2.16 กราฟความสัมพันธ์ความเค้นกับความเครียดของวัสดุเปราะ.....	22
2.17 เปรียบเทียบกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดแบบ Engineering กับแบบ True Stress-Strain.....	23
2.18 สัมประสิทธิ์ของความยืดหยุ่น (Modulus of elasticity หรือ Young' modulus).....	24
2.19 อัตราส่วนปัวซอง.....	25
2.20 ช่วงของการเปลี่ยนรูปแบบ Elastic และ Plastic.....	26
2.21 แสดงลักษณะของ slip และ twinning deformations (Bourne, 2016).....	27
2.22 แสดงลักษณะของ Edge และ Screw dislocation (Engineering Material, 2019).....	27
2.23 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ ณ จุดใดๆ บนวัตถุในแนวแกน X Y และ Z.....	28
2.24 การแปลงความเค้นจากระนาบ XY ไปที่ระนาบ X'Y' เป็นมุม θ	28
2.25 ลักษณะของวงกลมมอร์.....	30
2.26 ลักษณะกระบวนการทำงานของการขึ้นรูปโลหะแบบ Single point Incremental forming (Gatea, Ou, & McCartney, 2016).....	32
2.27 การนำเอาอัลตราโซนิค ไวเบรชันเข้ามาประยุกต์เข้ากับวิธีการขึ้นรูป แบบธรรมดา (Pengyang, และคนอื่นๆ, 2017).....	33
2.28 (ก) อิทธิพลของความถี่, (ข) อิทธิพลของขนาดของอัลตราโซนิค ไวเบรชันที่ส่งผล กระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป (Pengyang, และคนอื่นๆ, 2017).....	33
2.29 (ก) ขึ้นรูปด้วยวิธีการธรรมดา, (ข) ขึ้นรูปด้วยการประยุกต์ใช้ อัลตราโซนิค ไวเบรชัน (Pengyang, และคนอื่นๆ, 2017).....	34
2.30 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบ (ก) Direct Extrusion, (ข) Indirect Extrusion (Metal Extrusion, n.d.).....	35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.31 ลักษณะการติดตั้งชุดกำเนิดอัลตราโซนิกไวเบรชันเข้ากับชุดกดอัดบนกระบวนการ Extrusion (Y, He, Chen, & Long, 2017).....	35
2.32 ก และ ข มีอัตราส่วนการขึ้นรูปที่ 0.6/0.2mm และใช้วัสดุที่มีขนาด Grain size ขนาด 22 และ 191µm ตามลำดับ ส่วน ค และ ง มีอัตราส่วนการขึ้นรูปที่ 2.1/0.7mm และใช้วัสดุที่มีขนาด Grain size ขนาด 22 และ 191µm ตามลำดับ ทั้งหมดถูกกำหนดค่าความถี่อยู่ที่ 20kHz และปรับเปลี่ยนขนาดของอัลตราโซนิกไวเบรชันจาก 0 ไปถึง 27µm (Y, He, Chen, & Long, 2017).....	36
2.33 กระบวนการขึ้นรูปโลหะแบบ Upsetting (Upsetting Process : An Overview, n.d.).....	37
2.34 ลักษณะการติดตั้งชุดกำเนิดอัลตราโซนิกไวเบรชันเข้ากับชุดกดอัด (Xin-cun, Jia-peng, Huan, & Zhen, 2015).....	37
2.35 เปรียบเทียบค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจากการขึ้นรูปที่อุณหภูมิ 25° โดยมีการประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกไวเบรชันเข้ามาช่วยกับการขึ้นรูปแบบธรรมดาที่อุณหภูมิ 150° (Jung-Chung และ Chih-Chia, Investigations on the material property changes of ultrasonic-vibration assisted aluminum alloy upsetting, 2013).....	37
2.36 เปรียบเทียบลักษณะของแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปโลหะแบบ Upsetting ขณะเปิดและปิดอัลตราโซนิกไวเบรชัน (Xin-cun, Jia-peng, Huan, & Zhen, 2015).....	38
2.37 ลักษณะการประกอบชุดกำเนิดอัลตราเบรชันเข้ากับ ก. เครื่องทดสอบ Tension test (CJ, Y, B, DB, และ B, 2016) และ ข. เครื่องทดสอบ Compression test (Saeed & Karen, 2015).....	39
2.38 อิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบรชันที่ส่งผลต่อความเค้นของวัสดุขณะทดสอบ (CJ, Y, B, DB, และ B, 2016).....	40
3.1 แบบจำลองที่ได้จากการเลือกตัดเฉพาะส่วน.....	42
3.2 แบบจำลองที่ได้หลังจากผ่านการลดขนาดลง.....	43
3.3 จุด Support ต่างๆ ที่อยู่บนกระบวนการ Swage.....	43
3.4 จุด Support ต่างๆ ที่กำหนดให้กับ Simulation Model.....	44
3.5 ลักษณะการกระจายตัวและขนาดของเอลิเมนต์อยู่บนแบบจำลอง.....	45

สารบัญรูป (ต่อ)

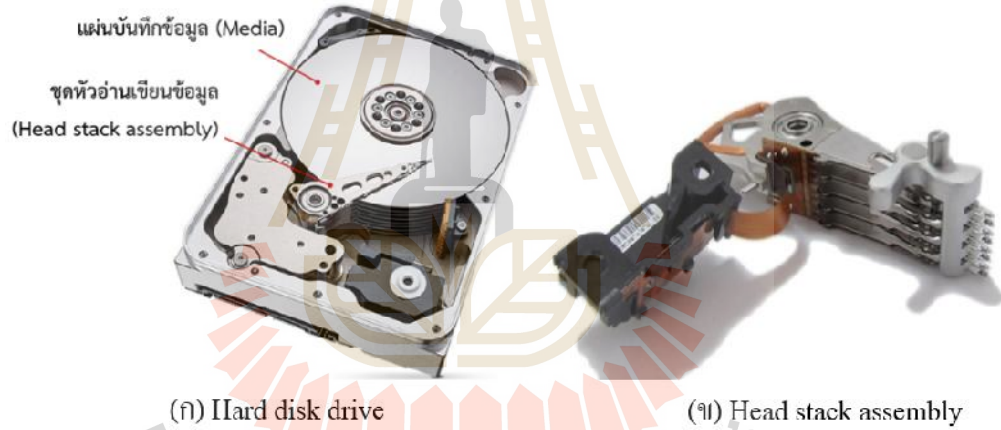
รูปที่	หน้า
3.6 การสัมผัสระหว่างชิ้นส่วนในการจำลองการทำงาน.....	46
3.7 เปรียบเทียบการเปลี่ยนรูปร่างของตัวงานจริงกับแบบจำลองที่ได้จากการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานเท่ากับ 0.2.....	46
3.8 (ก) เปรียบเทียบความเร็วของไดรเวอร์พินระหว่างการเคลื่อนที่แบบเร็วคงที่และแบบความเร็วแปรผันตามเวลา, (ข) ลักษณะการเคลื่อนที่ของไดรเวอร์พินที่ได้จากการใส่อัลตราโซนิกไวนาชัน.....	47
3.9 ความเร็ว ระยะ และทิศทางการเคลื่อนที่ของไดรเวอร์พิน.....	48
4.1 ลักษณะของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลขณะที่วิ่งผ่านรูเสวของเฮชจีเอเบสเพลท.....	51
4.2 แรงที่ใช้ในการจับลูกบอลจากกระบวนการเสวจริง.....	52
4.3 การกระจายตัวของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลจากกระบวนการเสว.....	52
4.4 ค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลจากการประยุกต์ใช้ของอัลตราโซนิกไวนาชัน.....	54
4.5 ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการจับลูกบอลจากการประยุกต์ใช้ของอัลตราโซนิกไวนาชัน.....	54
4.6 ค่าแรงเฉลี่ยต่อเนื่องที่ใช้ในการจับลูกบอลจากการประยุกต์ใช้ของอัลตราโซนิกไวนาชัน.....	55
5.1 (ก) ก่อนการเสว, (ข) หลังการเสว, (ค) เปรียบก่อนและหลังการเสว.....	57

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

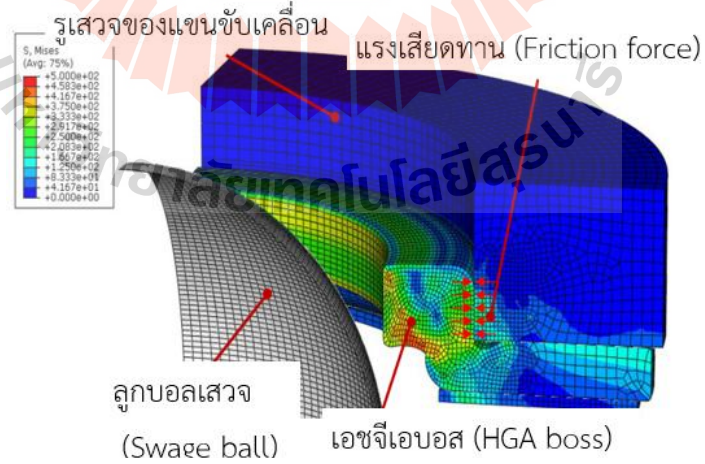
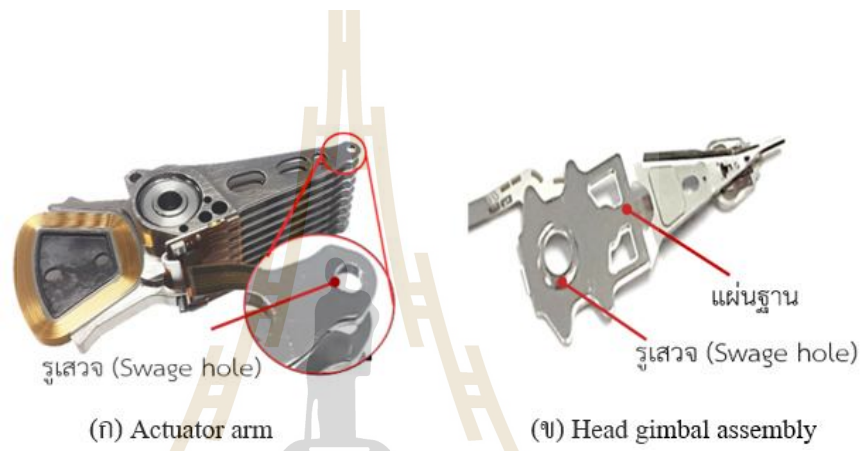
A	=	พื้นที่หน้าตัดของจุกรับแรง (Cross-Sectional area)
A_0	=	พื้นที่หน้าตัดตั้งต้น (Cross-Sectional area)
A_D	=	ขนาดของการเคลื่อนที่ในการขับเคลื่อนของไดรฟ์เวอร์พินในแต่ละรอบ
A_R	=	ขนาดของการเคลื่อนที่ในการถอยกลับของไดรฟ์เวอร์พินในแต่ละรอบ
a	=	ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)
c	=	ค่าคงที่
E	=	ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Young's modulus)
F	=	แรงที่มากระทำ (Force)
$\{F\}$	=	เวกเตอร์ของแรงกระทำ (Force vector)
f	=	ความถี่การสั่นของอัลตราโซนิกไวยเบรชัน
FEA	=	Finite Element Analysis
FEM	=	Finite Element Method
i	=	ดัชนีแนวตั้ง (Column index)
j	=	ดัชนีแนวตั้ง (Row index)
kHz	=	กิโลเฮิรตซ์
$[K]$	=	เมทริกซ์ความแข็งแกร่ง (Stiffness matrix)
L	=	ระยะทางในการเคลื่อนที่ทั้งหมด
l	=	ความยาว
l_0	=	ความยาวตั้งต้น
σ	=	ความเค้นฉาก (Normal stress)
τ	=	ความเค้นเฉือน (Shear strain)
ϵ	=	ความเครียดฉาก (Normal strain)
γ	=	ความเครียดเฉือน (Shear Strain)
$\{u\}$	=	เวกเตอร์ที่จุดต่อ (Nodal vector)
h	=	ระยะห่างระหว่างระนาบ
θ	=	มุมที่เปลี่ยนไป

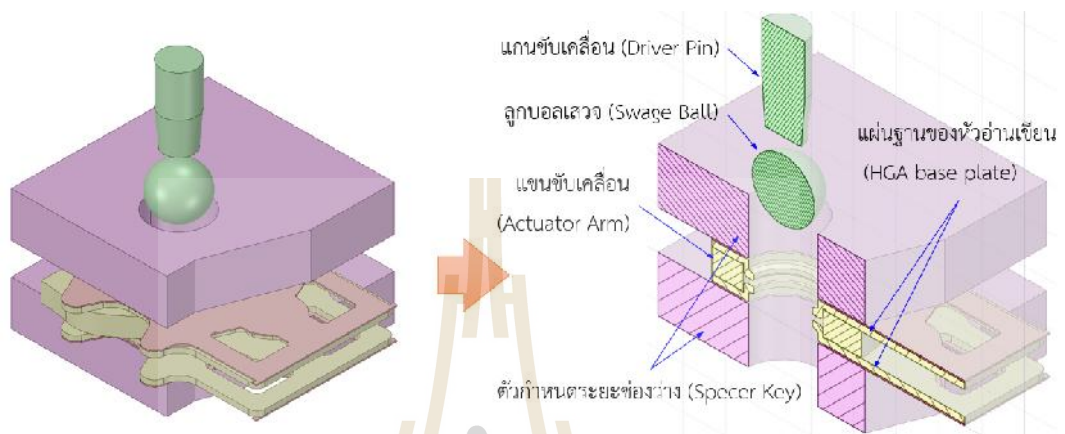
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

σ_{true}	=	True Stress
ϵ_{true}	=	True Strain
Δl	=	ความยาวที่เปลี่ยนไป
ν	=	อัตราส่วนปัวซอง (Poisson' Ratio)
ϵ_x	=	Stain ในแนวแกน X
ϵ_y	=	Stain ในแนวแกน Y
ϵ_z	=	Stain ในแนวแกน Z
σ_1	=	ความเค้นหลักสูงสุด
σ_2	=	ความเค้นหลักต่ำสุด
θ_p	=	มุมของระนาบความเค้นหลัก
τ_{max}	=	ความเค้นเฉือนสูงสุด
θ_s	=	มุมของระนาบความเค้นหลัก
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
Kg	=	กิโลกรัม
m^3	=	ลูกบาศก์เมตร
Pa	=	ปาสกาล (Pascal)
T_{Total}	=	ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการจำลองการทำงาน
V_{Aver}	=	ความเร็วเฉลี่ยของไดรเวอร์พิน
V_D	=	ความเร็วขับเคลื่อนสูงสุด
V_R	=	ความเร็วถอยกลับสูงสุด
W_D	=	ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ขับเคลื่อนของแกนขับในแต่ละรอบ
W_R	=	ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ถอยกลับของแกนขับในแต่ละรอบ
V_t	=	ความเร็วการเคลื่อนที่ของไดรเวอร์พิน
t	=	เวลาที่สนใจ
μm	=	ไมโครเมตร
N	=	นิวตัน
s	=	วินาที

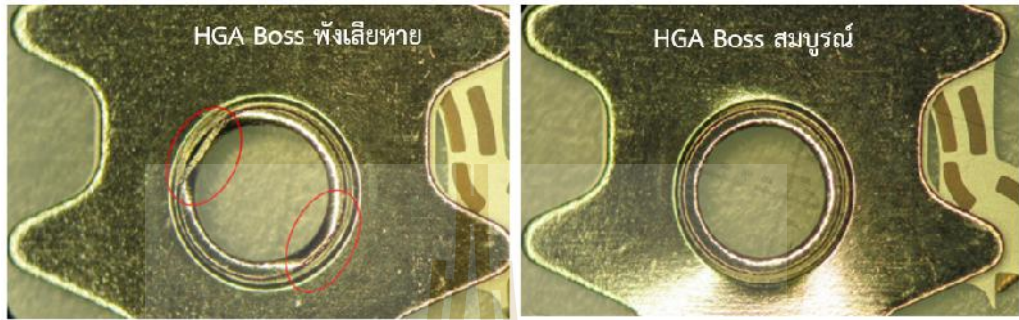


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



เดือน/ปี	อัตราส่วนของเสีย	จำนวนชิ้นงานที่ผลิต	จำนวนของเสีย
พฤษภาคม 2561	0.98	254,441	2,488
มิถุนายน 2561	1.07	315,825	3,373
กรกฎาคม 2561	0.22	290,167	626
สิงหาคม 2561	0.23	290,895	666
กันยายน 2561	0.10	415,428	416

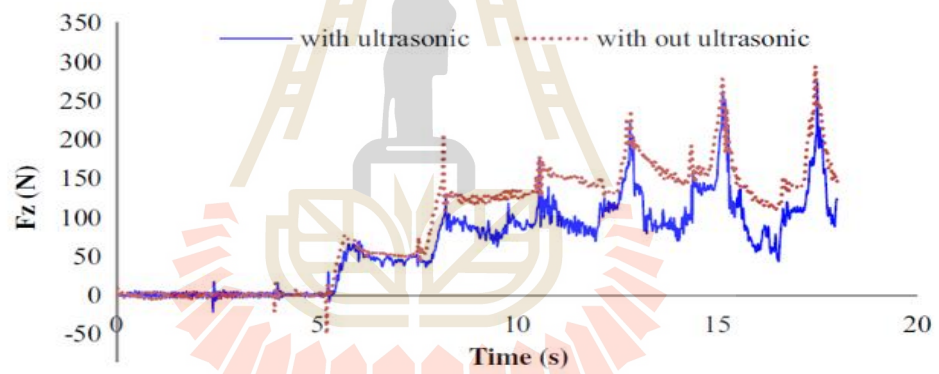
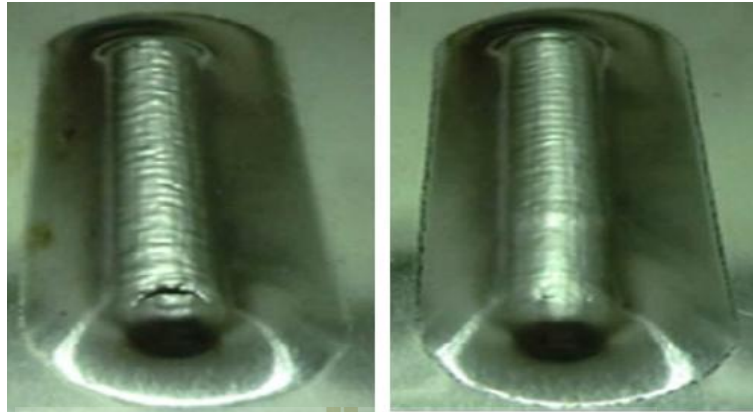
ตารางที่ 1.1 อัตราการเสียหายของเซพจีโอบอส (ต่อ)

เดือน/ปี	อัตราส่วนของเสีย	จำนวนชิ้นงานที่ผลิต	จำนวนของเสีย
ตุลาคม 2561	0.02	348,090	80
พฤศจิกายน 2561	0.15	348,863	519
ธันวาคม 2561	0.11	101,280	113

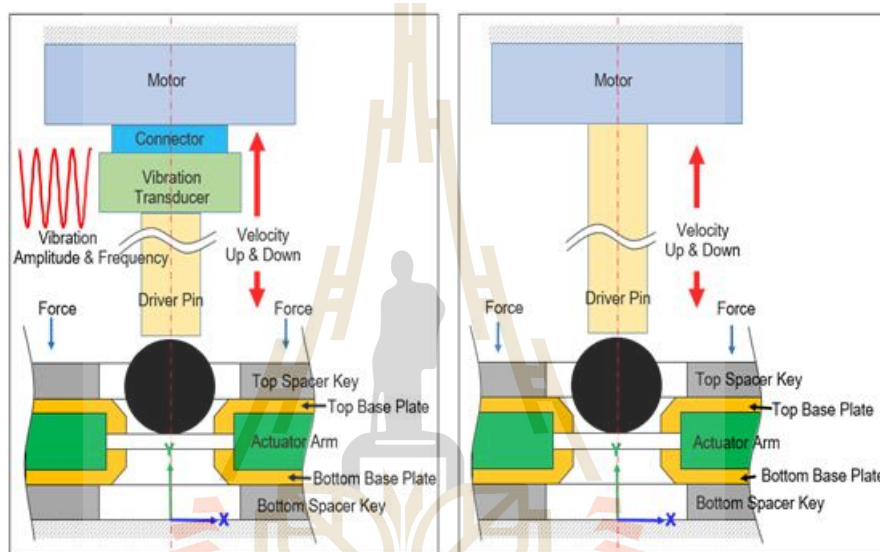
1.2 ความสำคัญของการวิจัย

เครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการเสวงจะอาศัยมอเตอร์เป็นตัวต้นกำลังในการขับเคลื่อนและควบคุมความเร็วการเคลื่อนที่ของไดร์เวอร์พินเพื่อขับต่อไปยังลูกบอลเสวงให้เข้าไปทำหน้าที่ในการขยายขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเซพจีโอบอสซึ่งอัตราการขยายตัวจะเป็นสัดส่วนตามขนาดของ ลูกบอลเสวงที่ใช้ จากที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 1.1 ว่าขนาดของแรงที่ใช้ในการขับลูกบอลนั้นมีความสัมพันธ์กับอัตราความเสียหายของเซพจีโอบอสที่เกิดขึ้น โดยที่ขนาดของแรงที่ใช้ในการขับลูกบอลจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ในกระบวนการเสวงเช่น แรงเสียดทานระหว่างลูกบอลเสวงกับเซพจีโอบอส ขนาดความเร็วของแกนขับเคลื่อนและอีกหนึ่งปัจจัยหลักที่มีผลกระทบอย่างมากกับขนาดของ แรงที่ใช้ในการขับลูกบอลก็คือความผันผวนของขนาดชิ้นส่วนประกอบ ดังนั้นความผันผวนของ แรงที่ใช้ในการขับลูกบอลที่เกิดขึ้นอาจสามารถแก้ไขให้หมดไปได้โดยการลดพิคัดความถี่ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ลงให้เหลือน้อยที่สุดจนกระทั่งความผันผวนที่มีไม่ส่งผลกระทบต่อขนาดของแรงที่ใช้ในการขับลูกบอล แต่การลดพิคัดความถี่จะทำให้ต้นทุนในการผลิตและราคาของชิ้นส่วนต่าง ๆ สูงขึ้นส่งผลทำให้ต้นทุนรวมของการผลิตสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการเสวงให้มีความสามารถที่จะรองรับกับความผันผวนอันเนื่องมาจากขนาดพิคัดความถี่ของชิ้นงานเพื่อไม่ให้มีของเสียเกิดขึ้นหรือลดอัตราการเกิดลง โดยการลดแรงที่ใช้ในการขับลูกบอลจึงเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่สมควรนำมาพิจารณาเพื่อแก้ปัญหาการเกิดของเสียในกระบวนการผลิตเป็นอย่างยิ่ง

มีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษา และทดลองเพื่อเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุและลดแรงที่ต้องใช้ในกระบวนการขึ้นรูปของโลหะ โดยการนำเครื่องอัลตราโซนิกไวเบรชัน (Ultrasonic Vibration) เข้ามาประยุกต์ใช้ (Amini, Gollo, & Paktinat, 2017) (Li, Chena, Suna, Li, & Zhao, 2017) (Jung-Chung และ Hung, The influence of ultrasonic-vibration on hot upsetting of aluminum alloy, 2005) ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองพบว่าอิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบรชัน ช่วยทำให้ขีดความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุที่เป็นโลหะเพิ่มมากขึ้นแสดงไว้ในรูปที่ 1.6 และแรงที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูปงานโลหะมีขนาดที่ลดลงอย่างชัดเจนแสดงไว้ในรูปที่ 1.7



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ศึกษาและวิเคราะห์ถึงอิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่มีต่อแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

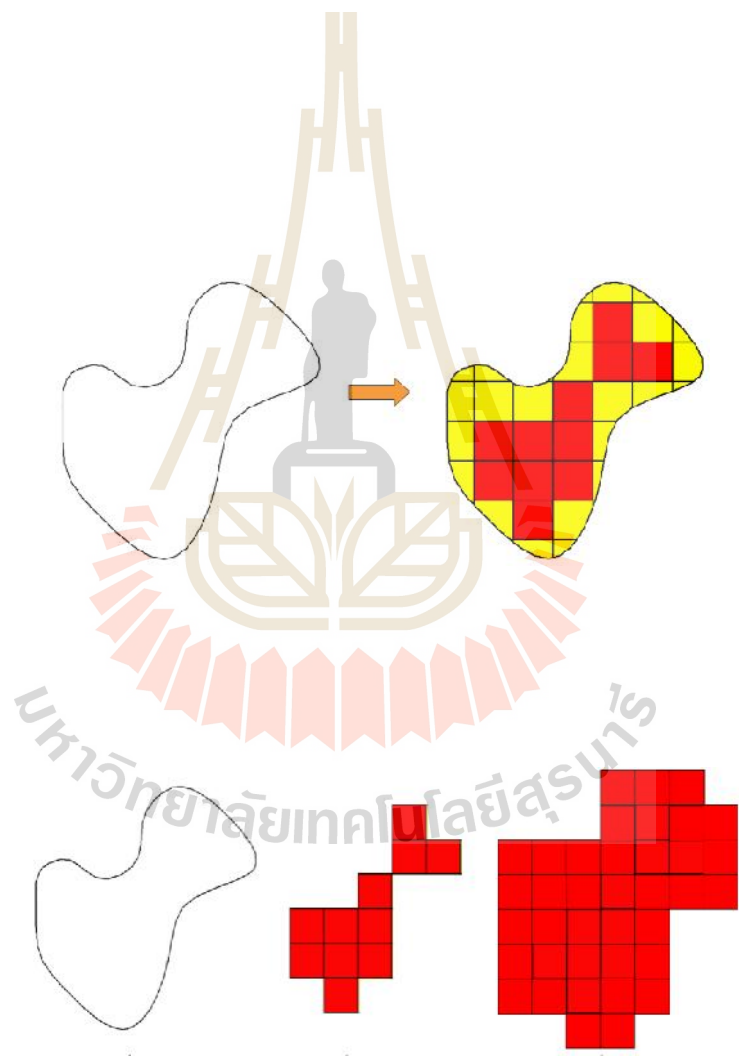
1.5.2 การโค้งตัวของเฮชจีเอเบสเพลทจะไม่นำมาพิจารณาในงานวิจัยนี้

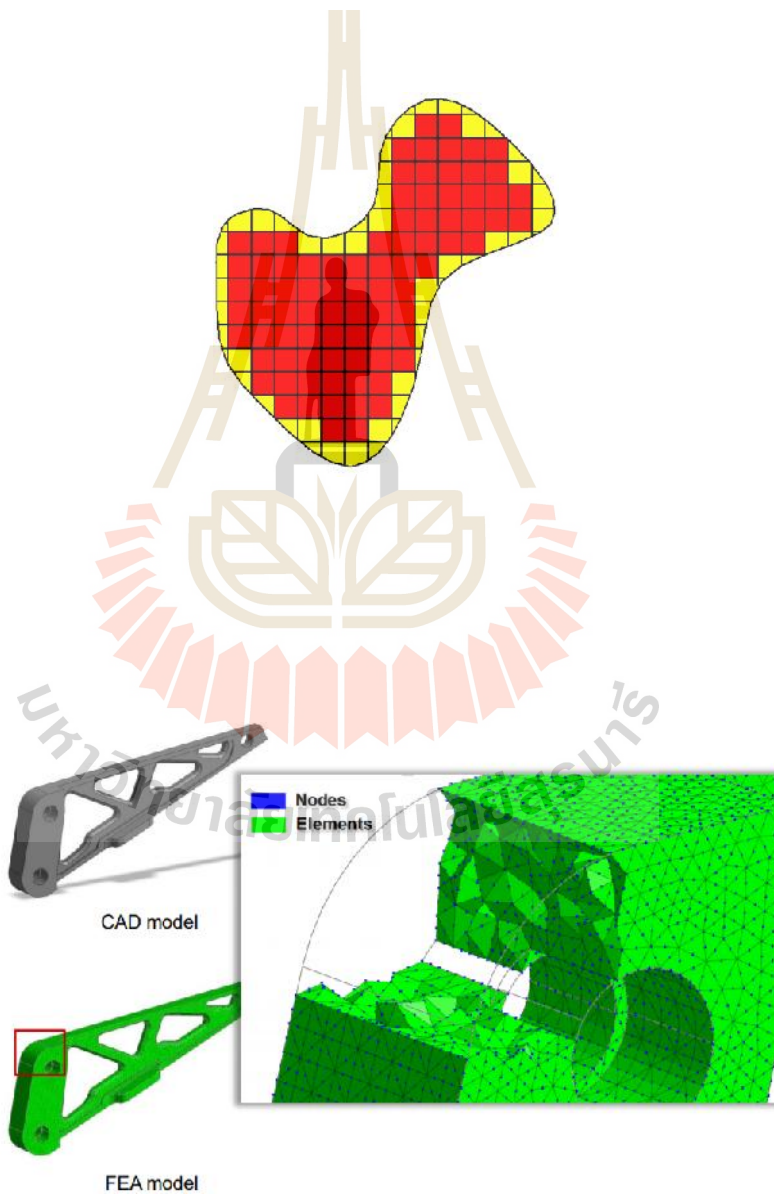
1.5.3 แบบจำลอง (Simulation model) ที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองกระบวนการทำงาน (Simulation) จะถูกลดทอนให้เหลือน้อยที่สุด โดยบริเวณที่อยู่ไกลออกไปหรือมีรูปแบบซ้ำซ้อนกันจะถูกพิจารณาตัดออกไปเพื่อลดเวลาที่ใช้ในการวิเคราะห์

1.5.4 การพิสูจน์ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงาน (Simulation Result) จะใช้วิธีการเปรียบเทียบค่าแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนที่ได้จากการจำลองการทำงานเทียบกับค่าที่ได้จากกระบวนการทำงานจริง

1.6 ข้อตกลงเบื้องต้น




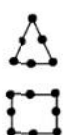
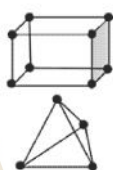
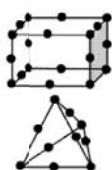
เครื่องจักรสำหรับกระบวนการเสาะหาไม่ได้รับการออกแบบให้สามารถใช้งานร่วมกับเครื่องอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันได้ และเครื่องอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันก็จำเป็นที่จะต้องได้รับการออกแบบมาเฉพาะเพื่อให้เหมาะสมกับกระบวนการผลิตทั้งทางด้านขนาดและรูปร่าง ดังนั้น การวิจัยนี้จะมุ่งเน้นไปที่การใช้ซอฟต์แวร์ไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อจำลองการทำงาน





เราเรียกการแบ่งชิ้นงานเป็นชิ้นเล็ก ๆ ว่าการแบ่งเมช (Mesh) ชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่ถูกแบ่งออกมา นี้ว่าเรียกว่าเอลิเมนต์ (Element) โดยที่จุดเชื่อมต่อของแต่ละเอลิเมนต์จะเรียกว่าจุดต่อ (Node) โดยได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.4 ชนิดของเอลิเมนต์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิดตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.5

Examples of various types of elements

	Element Name	Element Shape	
		First Order	Second Order
1D Elements Line Element	Spring, Damper Beam, Truss		
2D Elements Surface Element	Shell, Plane2D		
3D Elements Volume element	Hexahedral Tetrahedral		

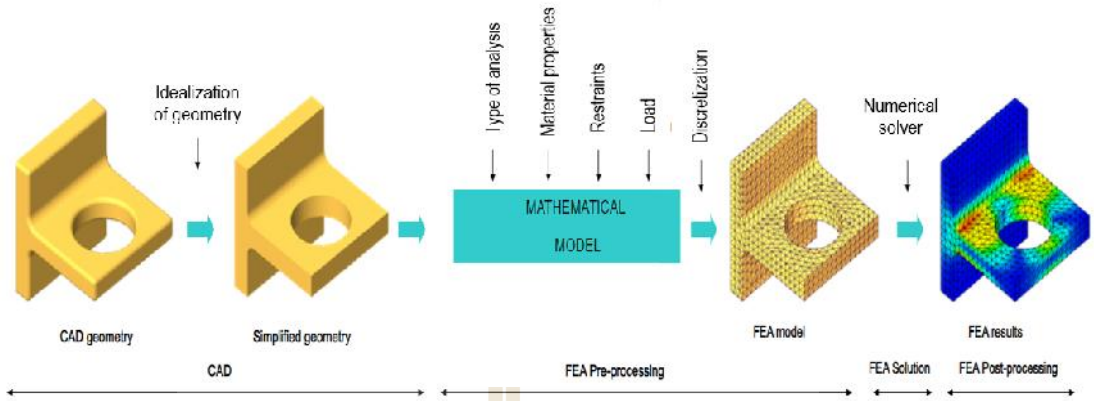
รูปที่ 2.5 ชนิดของ Element และชื่อเรียกของแต่ละชนิด (Christopher , 2018)

2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์

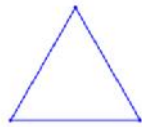
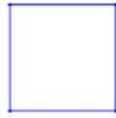
ขั้นตอนหลัก ๆ ในการวิเคราะห์สำหรับระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์โดยใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ซอฟต์แวร์ได้ถูกรวบรวม และสรุปไว้เป็นข้อดังนี้

- 2.2.1 สร้างแบบจำลอง (Simulation model) ที่ต้องการวิเคราะห์
- 2.2.2 ทำชิ้นงานให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ (Simplified Geometry) เช่น เอาการลบมุมออก, ปิดรูเจาะที่ไม่จำเป็นต่อการวิเคราะห์ เอาลวดลายบนโมเดลหรืออักษรบนออก เป็นต้น เพื่อให้โปรแกรมสามารถแบ่งเมช ได้ง่ายขึ้น
- 2.2.3 กำหนดค่าต่าง ๆ (Mathematical Model) เช่น ค่าวัสดุ จุดยึดชิ้นงาน แรงกระทำ เป็นต้น
- 2.2.4 แบ่งเมชสำหรับการวิเคราะห์
- 2.2.5 วิเคราะห์ผลลัพธ์ (Analysis) โดยผลลัพธ์ที่ได้จะแสดงในลักษณะของเฉดสีและจะมีแถบสีกำกับเพื่อบอกว่าสีใดแสดงถึงค่าเท่าไร ซึ่งค่าที่โปรแกรมคำนวณได้ก็มีหลากหลาย เช่น ความเค้น (Stress), ความเครียด (Strain), ระยะการเคลื่อนที่ (Displacement) เป็นต้น

BASIC STEPS IN THE FINITE ELEMENT ANALYSIS

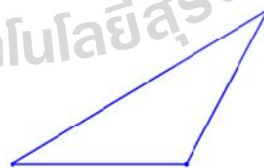
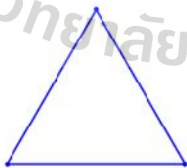
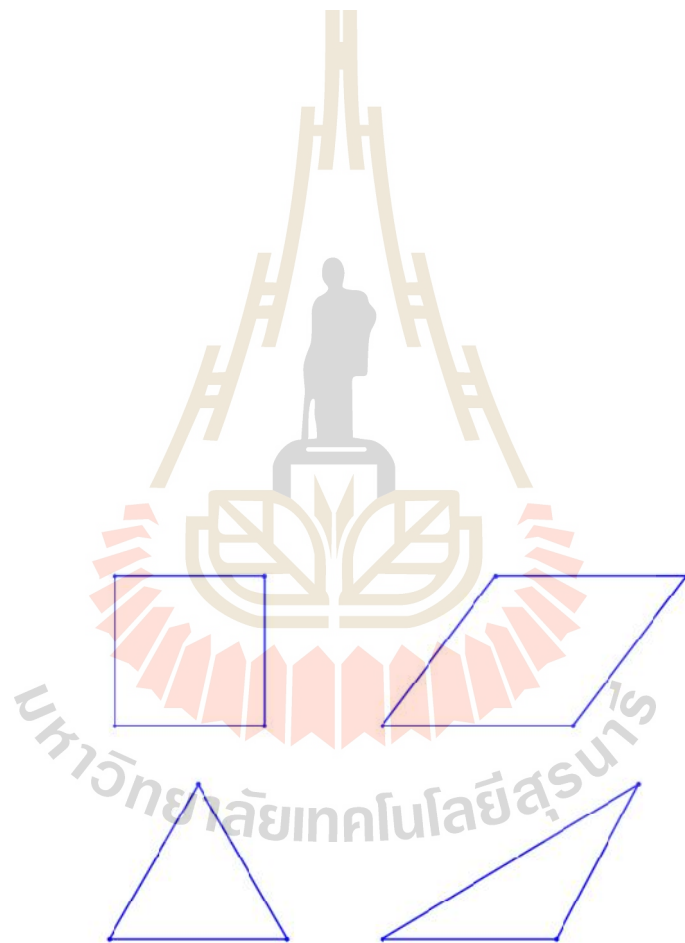


มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



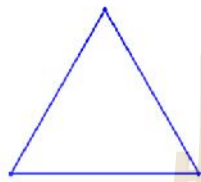
Aspect Ratio = 1

Aspect Ratio > 1

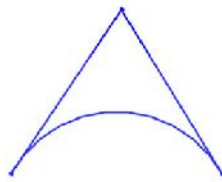


Skewness = 1

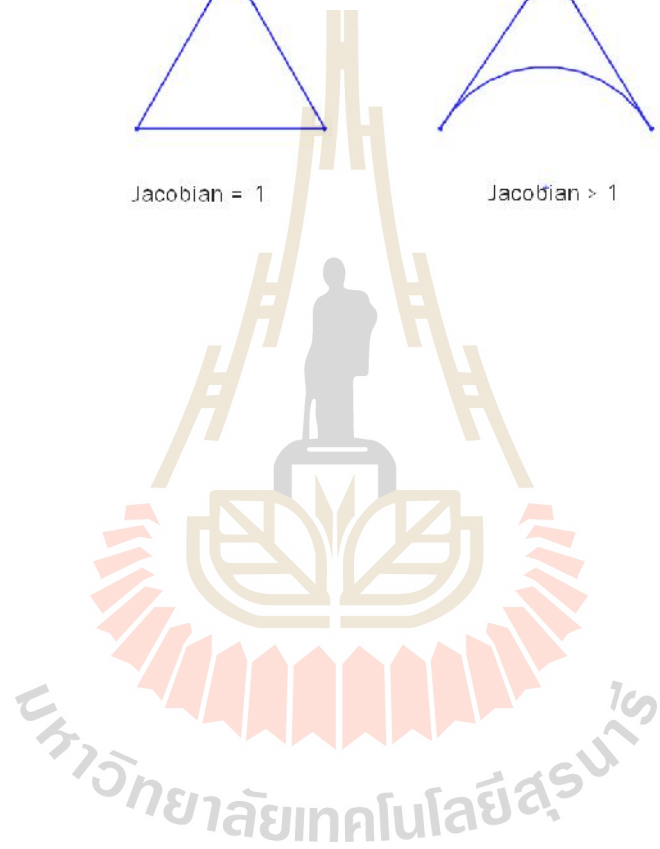
Skewness < 1

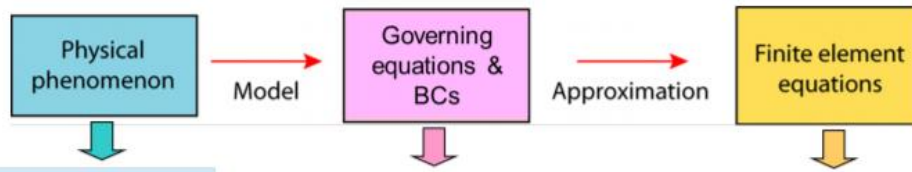


Jacobian = 1



Jacobian > 1





• Solid Mechanics

e.g. Axially loaded elastic bar

$$\frac{d}{dx} \left(AE \frac{du}{dx} \right) + b = 0$$

• Fluid Mechanics

e.g. Poiseuille flow in pipe

$$\frac{d}{dx} \left(A \frac{D^2}{32\mu} \frac{dp}{dx} \right) + Q = 0$$

• Thermal Conduction

e.g. 1-D heat flow

$$\frac{d}{dx} \left(Ak \frac{dT}{dx} \right) + Q = 0$$

• Diffusion

e.g. 1-D diffusion

$$\frac{d}{dx} \left(AD \frac{dC}{dx} \right) + Q = 0$$

• Electrical Conduction

e.g. 1-D electric current flow

$$\frac{d}{dx} \left(A\sigma \frac{dV}{dx} \right) + Q = 0$$

System of equations:

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

+ BCs (Boundary Conditions)

Stiffness matrix Nodal vector Force vector

ร: จสมการ

$$[K]\{u\} = \{F\}$$

$[K]$ คือ เม

$\{u\}$ คือ เว

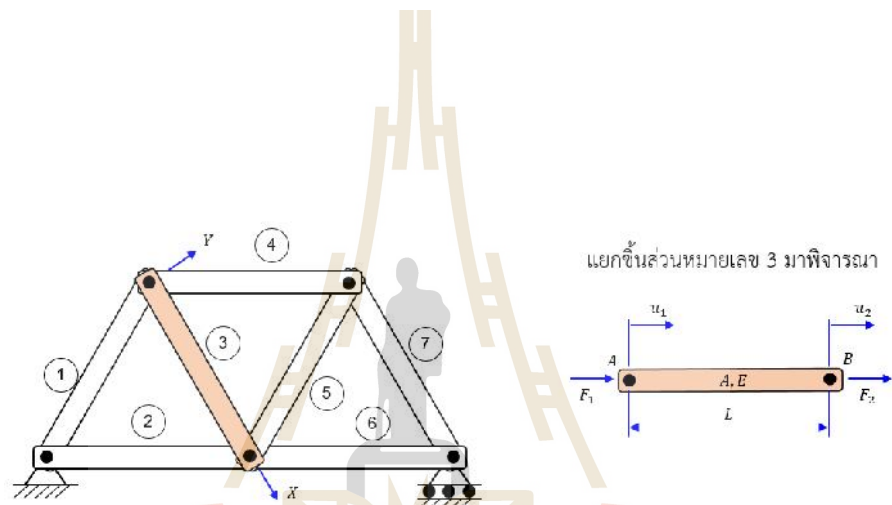
$\{F\}$ คือ เว

สมร 2.1 จั ไนรัฐ ช้แม่ ฮอร์

$$\begin{bmatrix} K_{i,j} & K_{i,j+1} & K_{i,j+m} \\ K_{i+1,j} & K_{i+1,j+1} & K_{i+1,j+m} \\ K_{i+n,j} & K_{i+n,j+1} & K_{i+n,j+m} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ u_{i+1} \\ u_{i+n} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_i \\ F_{i+1} \\ F_{i+n} \end{Bmatrix}$$

i คือ

j คือ



$$\sigma = E\varepsilon$$

σ คือ

ε คือ

E คือ

$$F = \sigma A = (E\varepsilon)A \quad (2.4)$$

$$F = AE(u_2 - u_1)/L \quad (2.5)$$

เมื่อ F คือ แรงที่มากกระทำ (Force)

A คือ พื้นที่หน้าตัดของจูดรับแรง (Cross-Sectional area)

เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 2.8 จะได้รูปสมการย่อยดังนี้

$$F_2 = -F_1 = AE(u_2 - u_1)/L \quad (2.6)$$

$$AE(u_1 - u_2)/L = F_1 \quad (2.7)$$

$$-AE(u_1 - u_2)/L = F_2 \quad (2.8)$$

ซึ่งเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\frac{AE}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \end{Bmatrix} \quad (2.9)$$

2.5 ความเค้น (Stress)

ความเค้น (Stress) เป็นปริมาณที่แสดงถึงแรงต้านภายในเนื้อวัสดุที่พยายามต้านต่อแรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมในทางปฏิบัติและความยากในการวัดหาค่านี้ จึงพิจารณากันในรูปแบบของความเค้นที่แรงภายนอกที่มากกระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่าแรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายในนั่นเอง โดยทั่วไปแล้วความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากกระทำคือ

2.5.1 ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ ภาคตัดขวางโดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2.12 ก

2.5.2 ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากกระทำในแนวตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวางเพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดหดสั้นลง ดังรูปที่ 2.12 ข

τ เกิด

๒๐๑๑

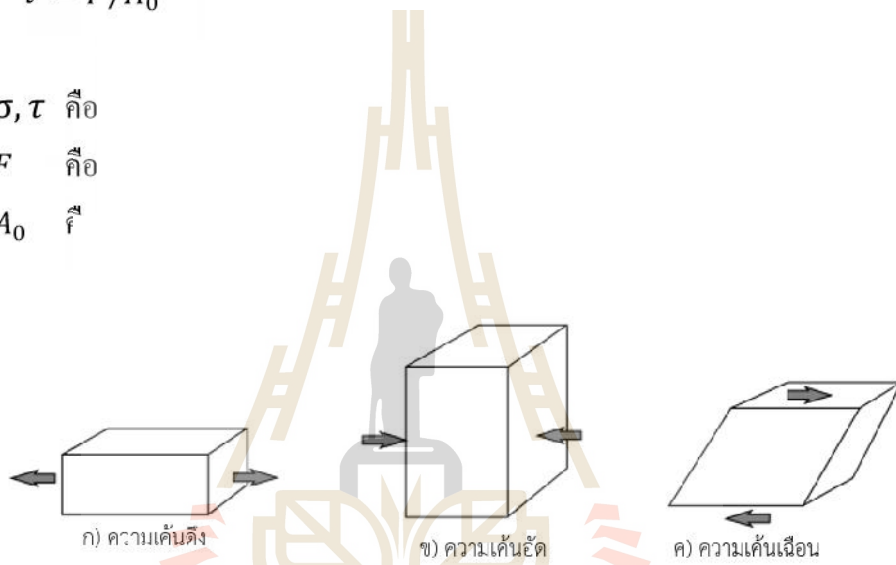
เนื้ เสมการได้

$$\tau = F/A_0$$

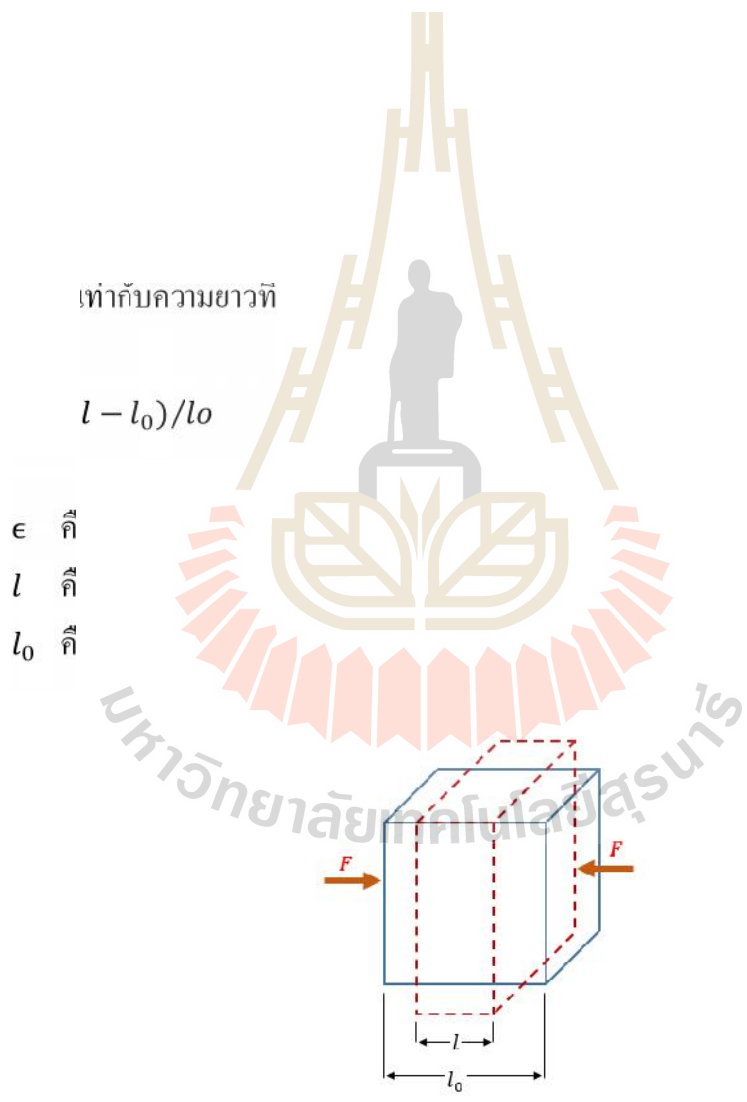
σ, τ คือ

F คือ

A_0 คือ



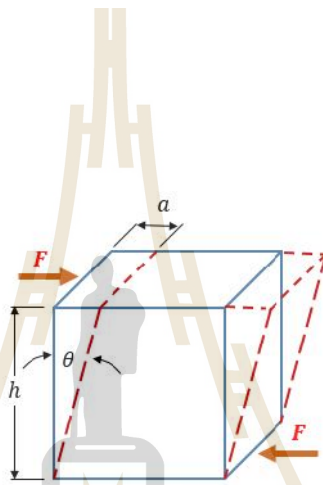
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



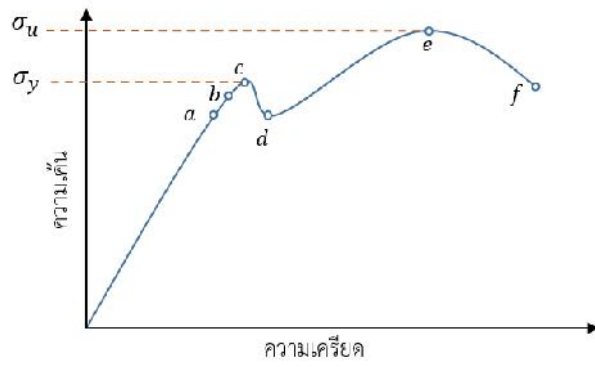
... ต่อ:

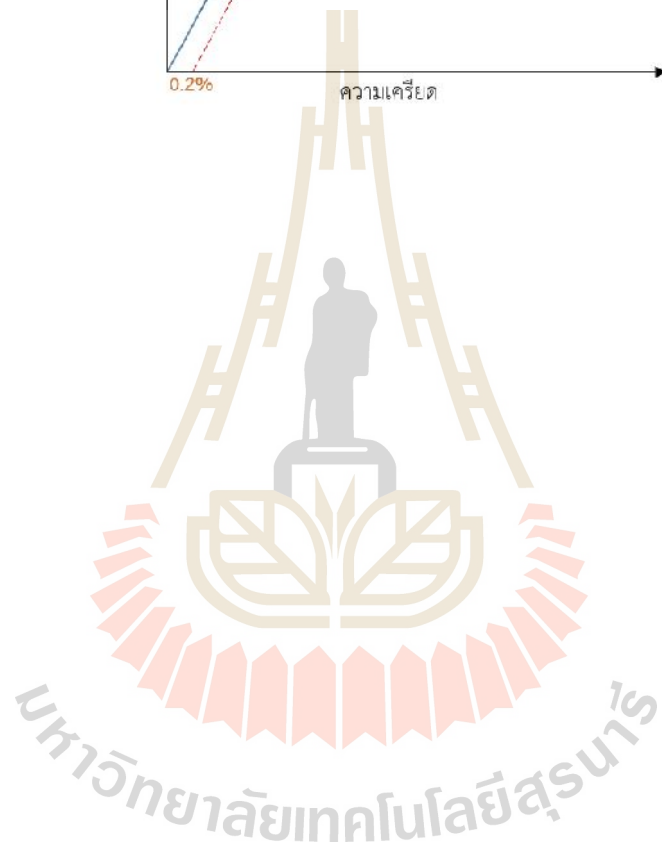
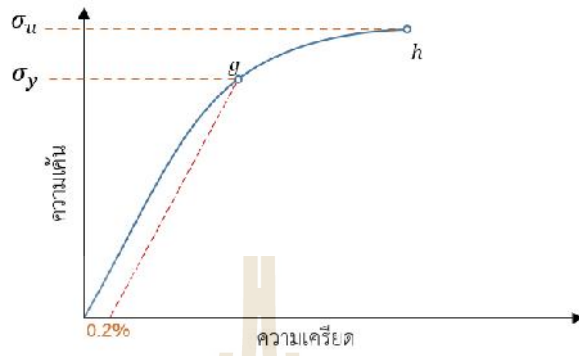
$$\gamma = \frac{a}{h} \div \theta$$

$$\gamma = \frac{a}{h} \theta$$



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





ณ โดยใช้นา:

$$\sigma_{true} = F/A$$

σ_{true} คือ True Stress

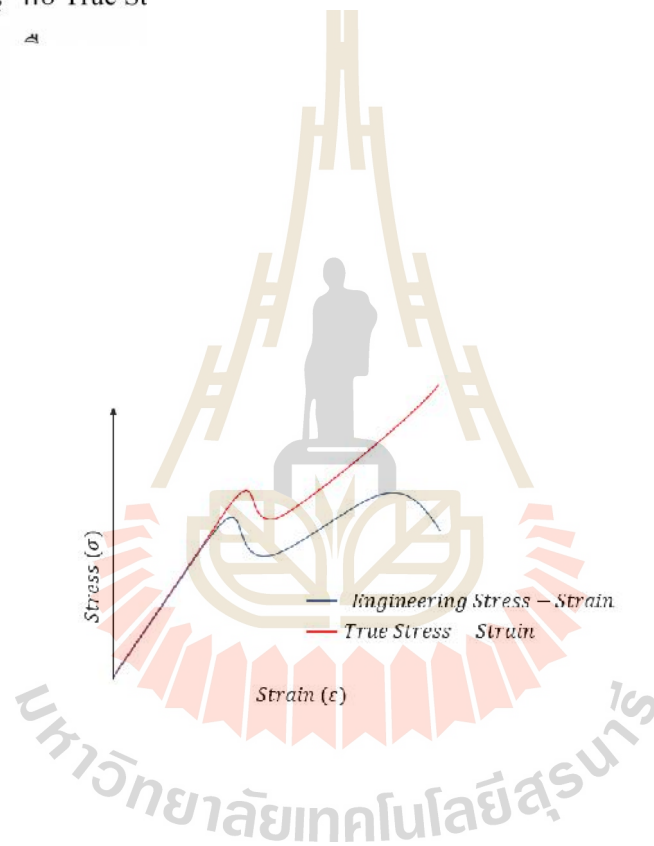
F คือ Force

A คือ Cross-sectional Area

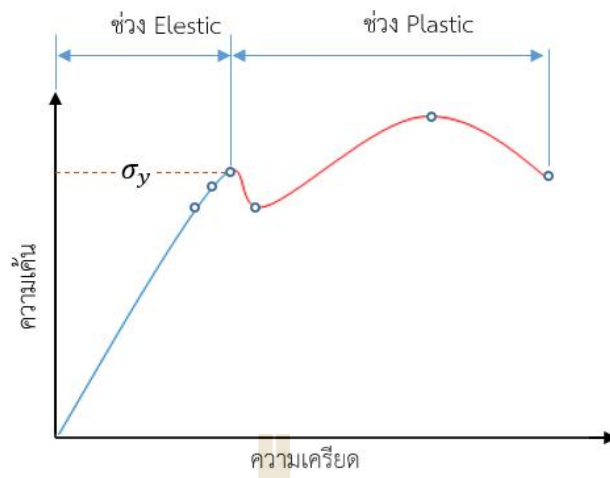
$$\epsilon_{true} = \int \left(\frac{\Delta l}{l} \right) = \ln \left(\frac{l}{l_0} \right) = \ln \left(\frac{A_0}{A} \right)$$

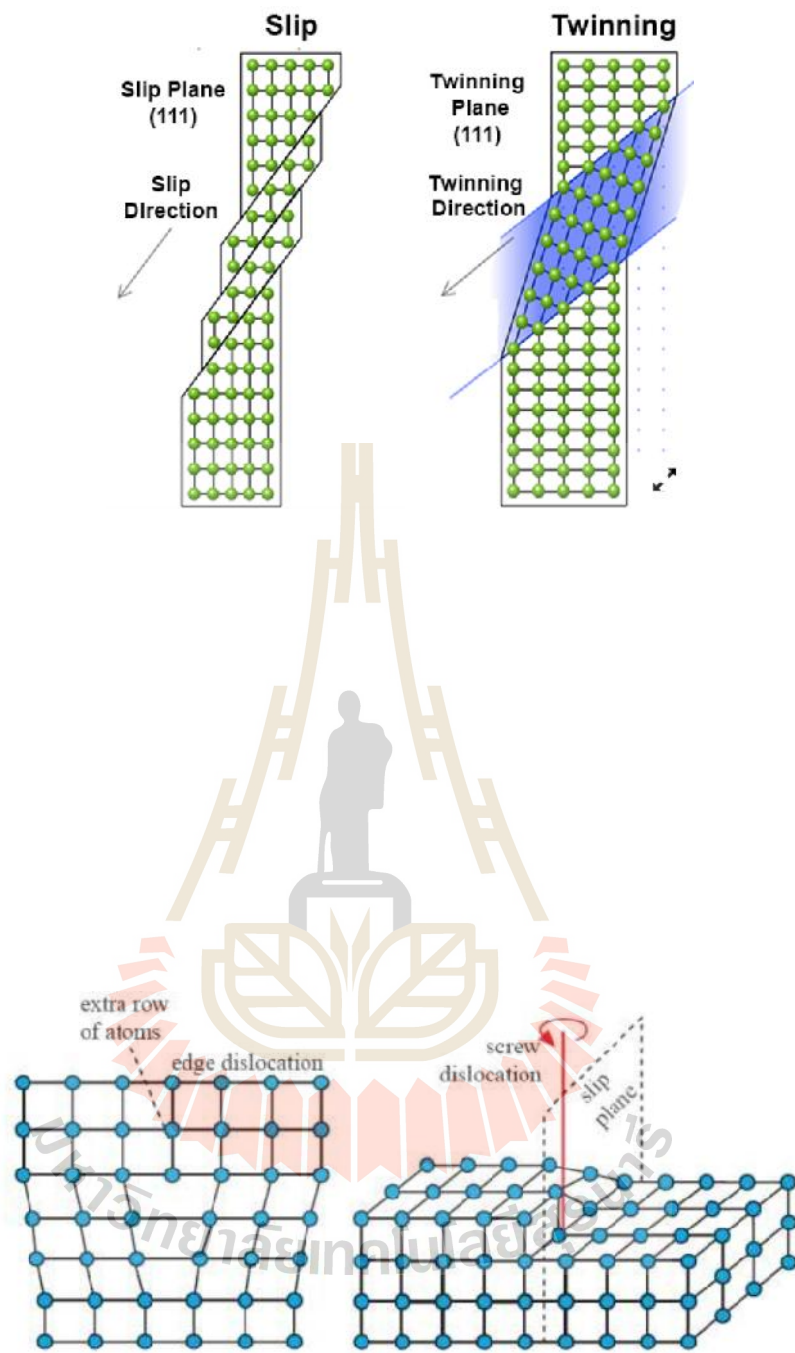
ϵ_{true} คือ True Strain

Δl คือ Change in Length







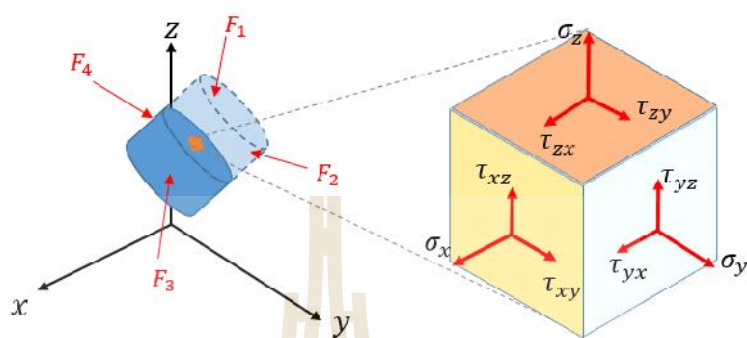


tion)

ประกอบไปด้วย ค่าทั้ง

σ_x σ_y และ σ_z 0

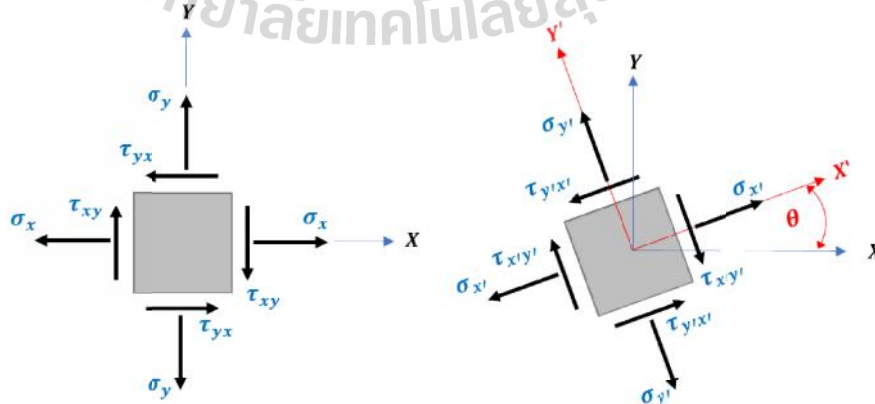
หน้าตัดของลูกบาศก์ตามแนวแกน X Y และ Z และมีความเค้นเฉือน (Shear stress) อีก 6 ค่าได้แก่ τ_{xy} τ_{yx} τ_{zy} τ_{yz} τ_{zx} และ τ_{xz} ที่กระทำอยู่บนระนาบหน้าตัดเดียวกับค่าความเค้นฉกตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 ความเค้นที่เกิดขึ้นที่ ณ จุดใด ๆ บนวัตถุในแนวแกน X Y และ Z

อย่างไรก็ตามสถานะของความเค้นที่เกิดขึ้นทั้งหมดจะเปลี่ยนแปลงไปหากแกนอ้างอิงทั้ง 3 แกนเกิดการหมุนไปจากเดิม ซึ่งในการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงไปของค่าความเค้นที่เกิดขึ้นในที่นี้จะเน้นที่การเปลี่ยนค่าความเค้นที่เป็นความเค้นในแนวระนาบ (Plane stress) หรือพิจารณาเพียง 2 แกนเท่านั้นคือในแนวแกน X และ Y โดยกำหนดให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในแนวแกน Z

การแปลงความเค้นในระนาบ (Plane Stress Transformation) หมายถึงการหาความเค้นที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดใด ๆ ซึ่งหมุนไปจากระนาบ XY ไปที่ระนาบ $X'Y'$ เป็นมุม θ ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.24



รูปที่ 2.24 การแปลงความเค้นจากระนาบ XY ไปที่ระนาบ $X'Y'$ เป็นมุม θ

สมการที่ใช้ในการหา $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$, และ $\tau_{x'y'}$, สำหรับการแปลงความเค้นในระนาบสรุปได้ดังนี้

$$\sigma_{x'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} + \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta + \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (2.16)$$

$$\sigma_{y'} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} - \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \cos 2\theta - \tau_{xy} \sin 2\theta \quad (2.17)$$

$$\tau_{x'y'} = -\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2} \sin 2\theta + \tau_{xy} \cos 2\theta \quad (2.18)$$

นอกจากค่าความเค้นในแนวแกน $\sigma_{x'}$, $\sigma_{y'}$, และ $\tau_{x'y'}$, ที่เกิดขึ้นเมื่อระนาบอ้างอิงเปลี่ยนไปแล้วตามความเค้นหลัก (principal stress) และ ความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum plane shear stress) ที่เกิดขึ้นก็ต้องนำมาพิจารณาด้วย

ความเค้นหลัก (principal stress) คือความเค้นฉากที่มีขนาดสูงสุดและต่ำสุดที่เกิดขึ้นบนระนาบความเค้นหลัก (principal plane) โดยระนาบนี้จะไม่มีความเค้นเฉือนเกิดขึ้น สมการที่ใช้ในการคำนวณหา σ_1 , σ_2 และ θ_p สรุปได้ดังนี้

$$\tan 2\theta_p = \frac{2\tau_{x'y'}}{\sigma_x - \sigma_y} \quad (2.19)$$

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{x'y'}^2} \quad (2.20)$$

เมื่อ σ_1 คือ ความเค้นหลักสูงสุด
 σ_2 คือ ความเค้นหลักต่ำสุด
 θ_p คือ มุมของระนาบความเค้นหลัก

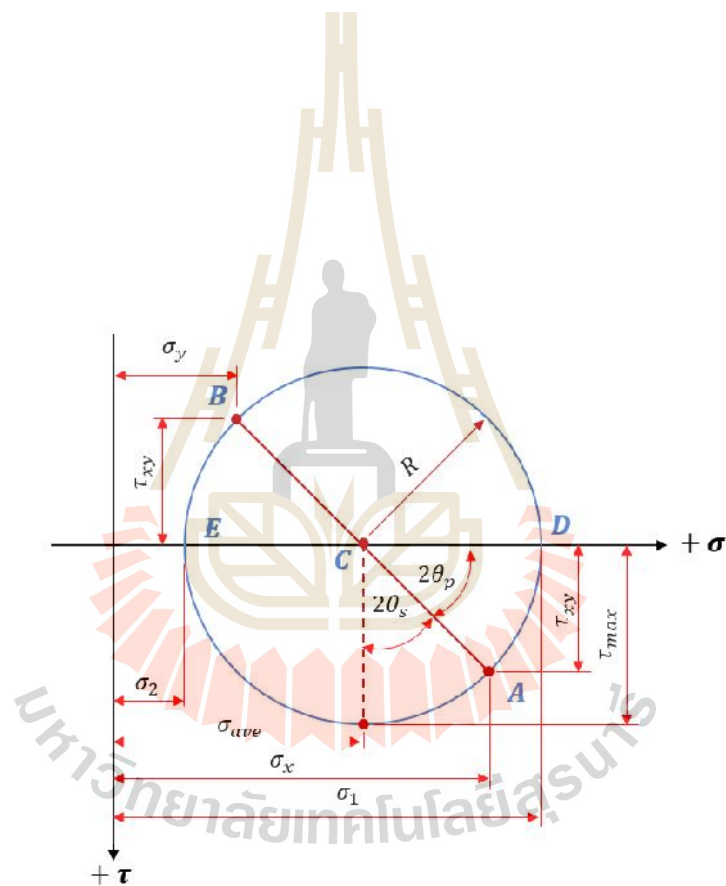
ความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum plane shear stress) คือความเค้นเฉือนที่มีขนาดสูงสุดที่เกิดขึ้นบนระนาบความเค้นเฉือนสูงสุด (maximum shear stress plane) โดยระนาบความเค้นเฉือนสูงสุดจะทำมุม 45° กับระนาบความเค้นหลัก สมการที่ใช้ในการคำนวณหา τ_{max} และ θ_s สรุปได้ดังนี้

$$\tan 2\theta_s = \frac{\sigma_x - \sigma_y}{2\tau_{xy}} \quad (2.21)$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}$$

τ_{max} คือ

θ_s



งกลมมอร์ได้ถูกสรุป

ถ้า σ_x σ_y τ_{xy} และมุม θ

น σ และ τ

$A (\sigma_x, \tau_{xy})$ และ $B (\sigma_y, -\tau_{xy})$

4. ลากเส้นจากจุด A ไป B เพื่อกำหนดจุด C
ขั้นตอนการหาความเค้นหลัก ความเค้นเฉือนสูงสุด และระนาบความเค้น

1. หาระที่จุด C หรือความเค้นเฉลี่ย จากสมการ

$$\sigma_{ave} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \quad (2.23)$$

2. หารัศมีของวงกลมมอร์ จากสมการ

$$R = \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2} \quad (2.24)$$

3. หาความเค้นหลัก จากสมการ

$$\sigma_{1,2} = \sigma_{ave} \pm R \quad (2.25)$$

4. หามุมของระนาบความเค้นหลักจากสมการ

$$\tan 2\theta_p = \frac{\tau_{xy}}{(\sigma_x - \sigma_y)/2} \quad (2.26)$$

5. หาความเค้นเฉือนสูงสุดจากสมการ

$$\tau_{max} = R \quad (2.27)$$

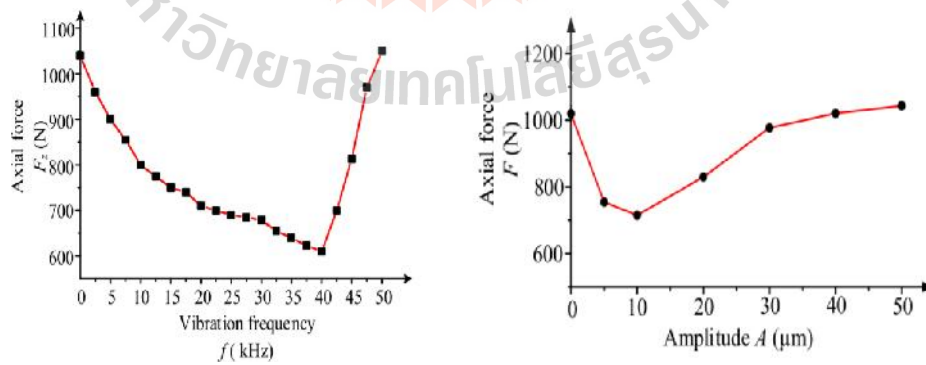
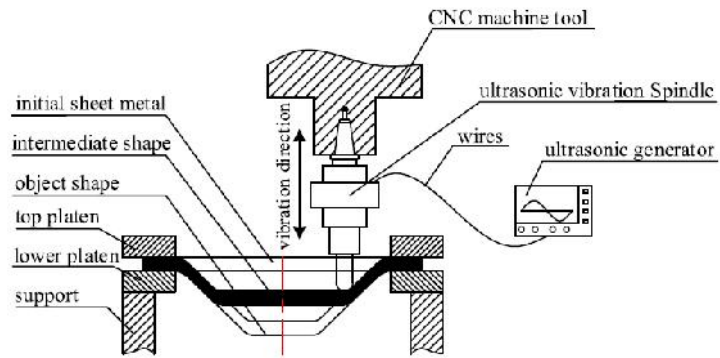
6. หามุมของระนาบความเค้นเฉือนสูงสุดจากสมการ

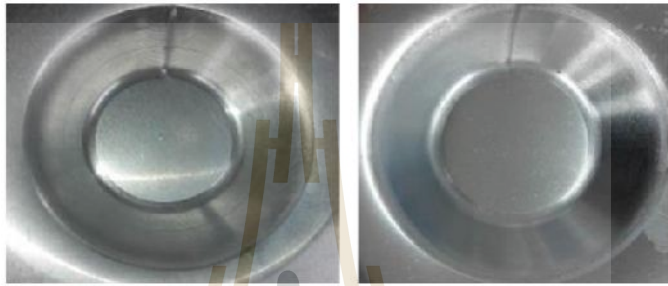
$$\tan 2\theta_s = \frac{(\sigma_x - \sigma_y)/2}{\tau_{xy}} \quad (2.28)$$

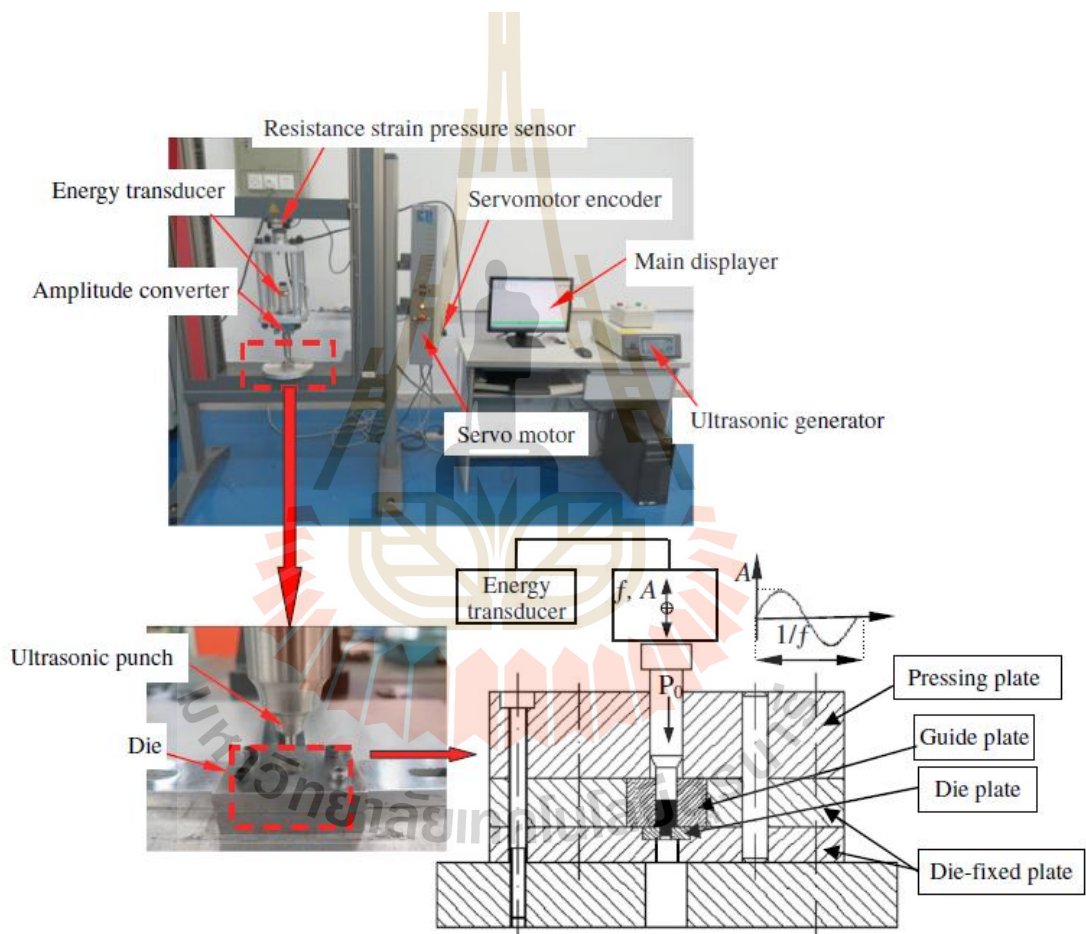
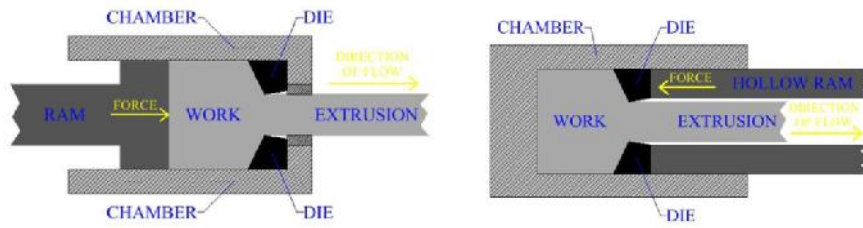
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

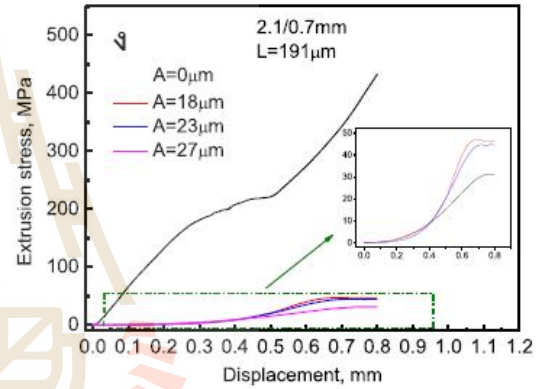
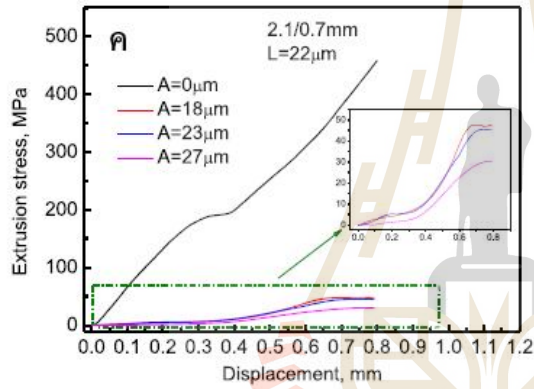
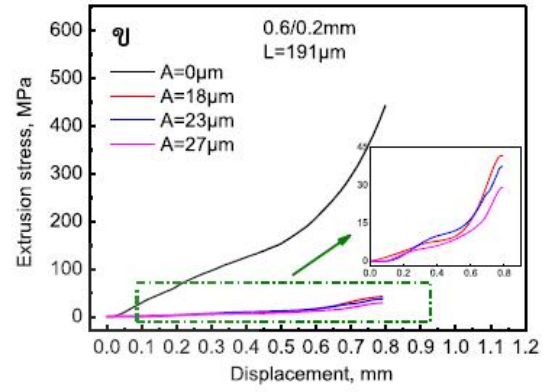
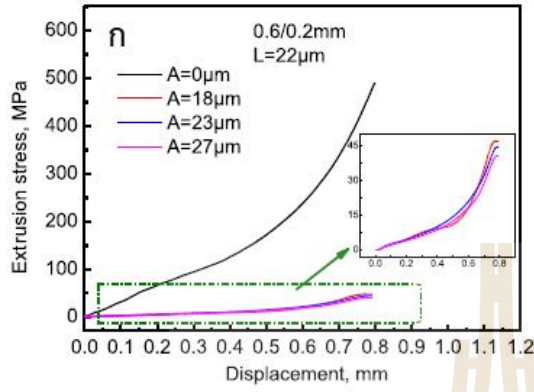
มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการนำอัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน (Ultrasonic vibration) มาประยุกต์ใช้กับการขึ้นรูปโลหะ และศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่มีผลต่อคุณสมบัติด้านการขึ้นรูปของโลหะรวมถึงผลกระทบต่อกระบวนการขึ้นรูปโลหะ โดยเน้น

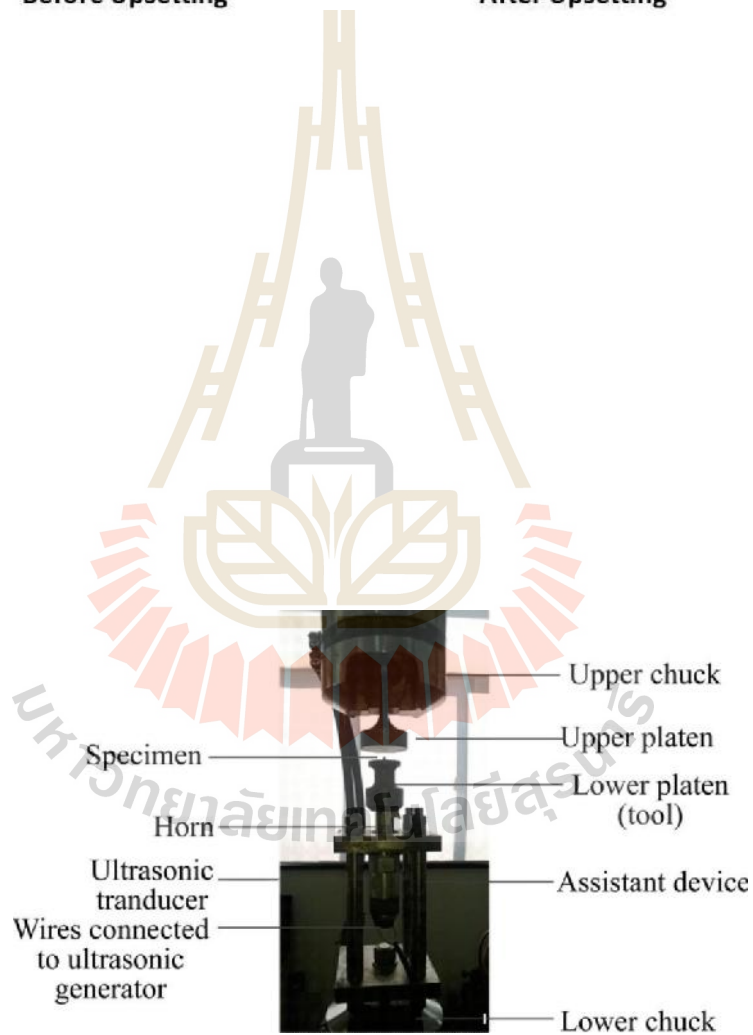
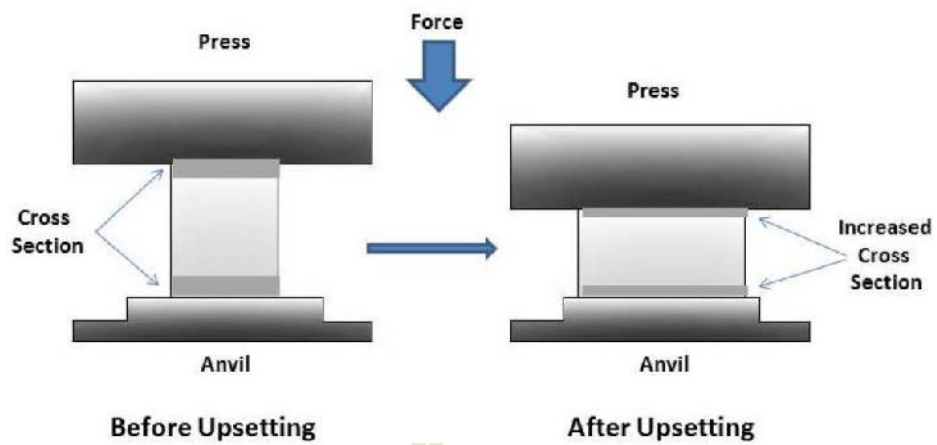


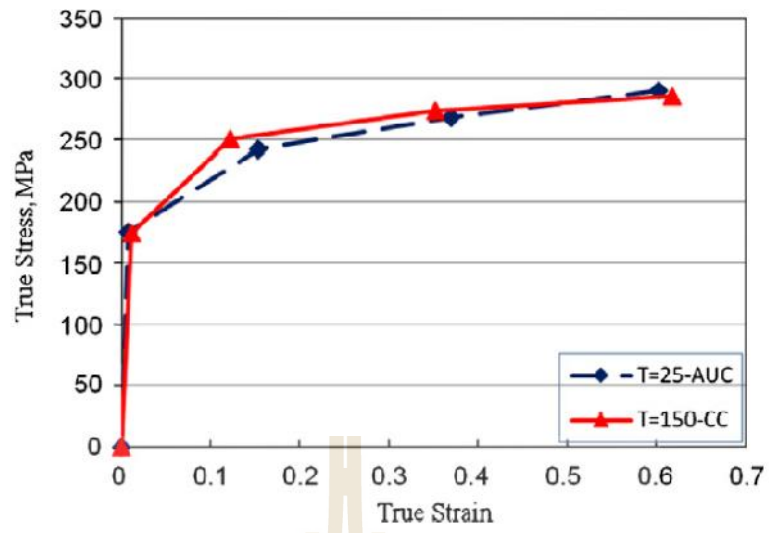


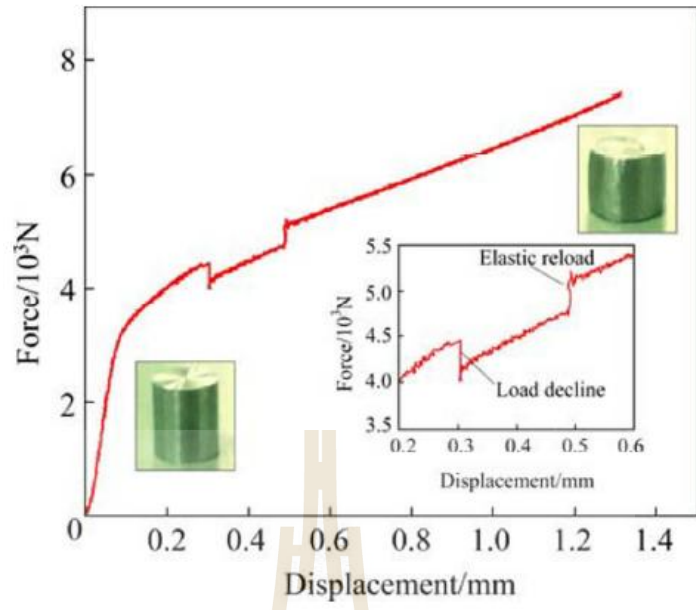




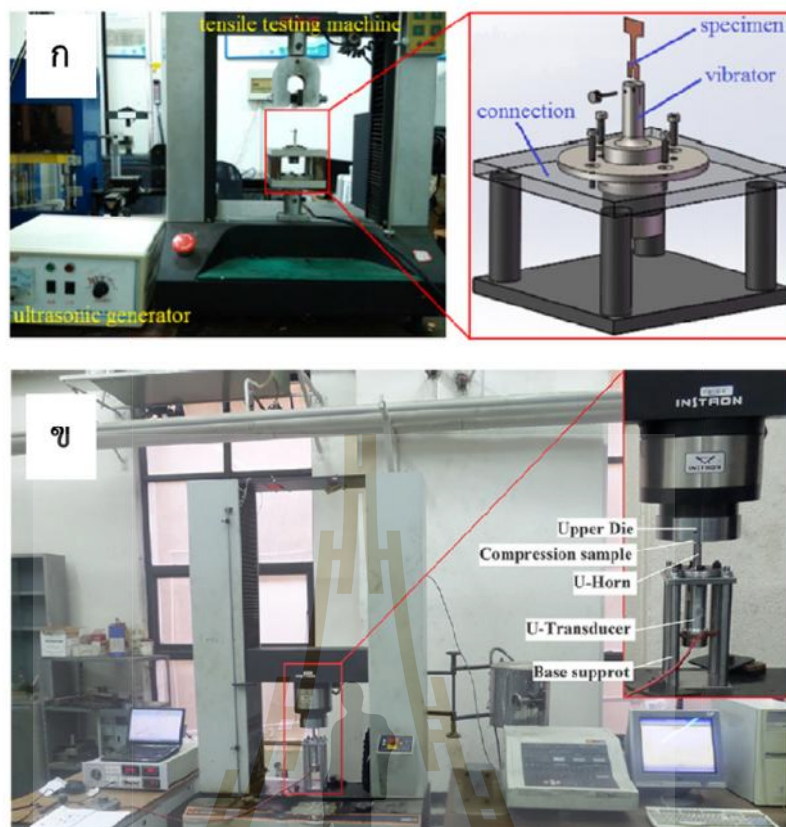






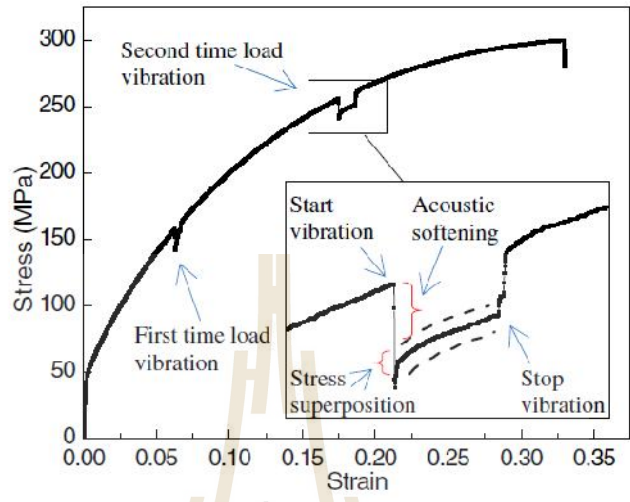


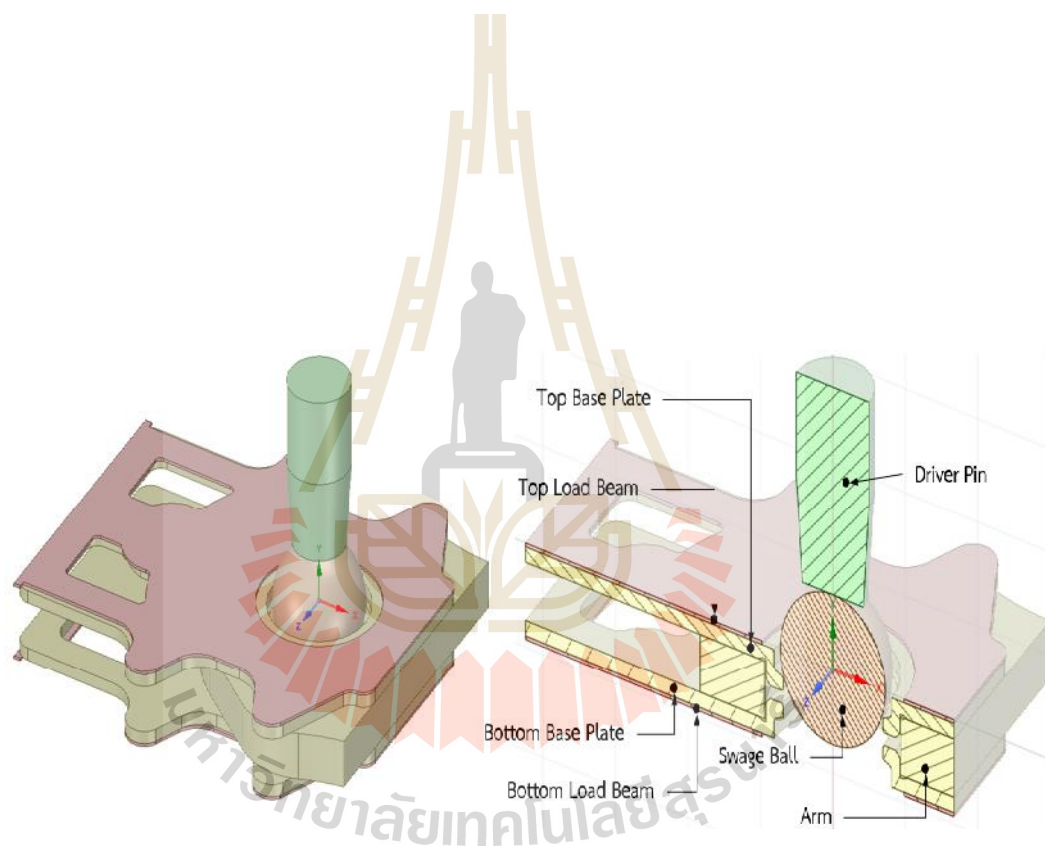
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



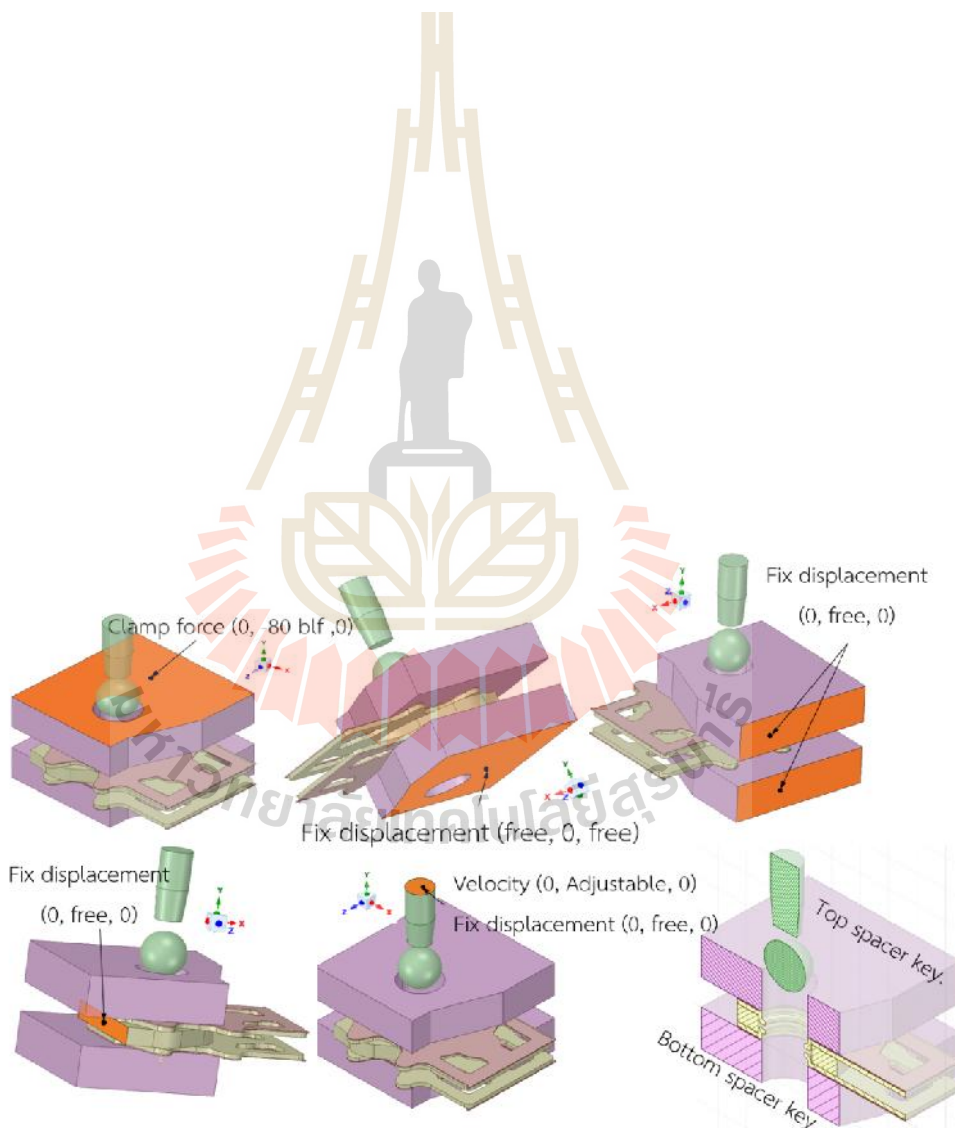
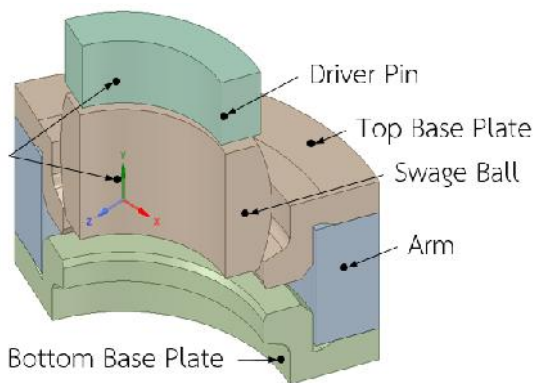
รูปที่ 2.38 ลักษณะการประกอบชุดกำเนิดอัลตราโซนิคเข้ากับ ก.เครื่องทดสอบ Tension test (CJ, Y, B, DB, และ B, 2016) และ ข. เครื่องทดสอบ Compression test (Saeed & Karen, 2015)

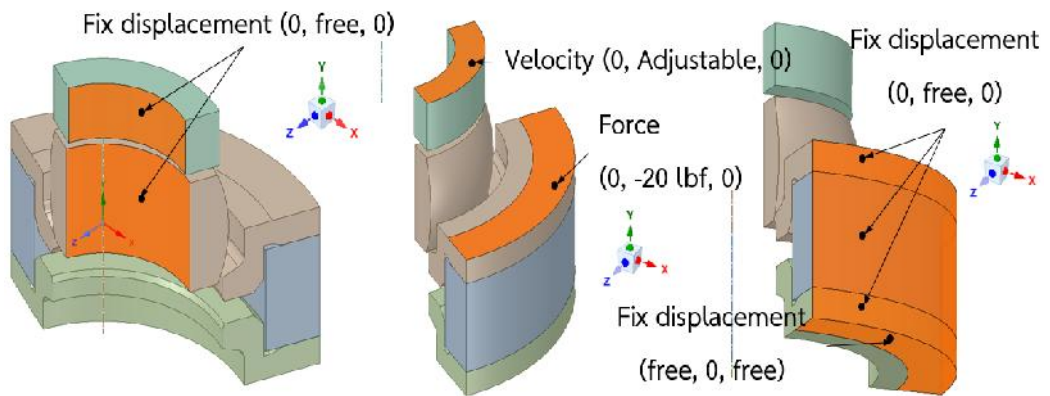
ผลที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 แบบมีความสอดคล้องกันคืออัลตราโซนิคไวเบอร์ชันช่วยทำให้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นขณะทดสอบลดลงอย่างมีนัยยะสำคัญ และเมื่อปิดอัลตราโซนิคไวเบอร์ชันค่าความเค้นจะกลับคิดตัวสูงขึ้นทันทีโดย สาเหตุที่ทำให้ค่าความเค้นลดลงนั้นเป็นอิทธิพลอันเนื่องมาจาก 2 อิทธิพลหลักคือ หนึ่ง Acoustic softening ซึ่งเป็นพฤติกรรมที่วัสดุได้ดูดซับเอาพลังงานจากอัลตราโซนิคไวเบอร์ชันเข้ามาและส่งผลทำให้อะตอมเกิดการเคลื่อนที่หรือ dislocation ได้ง่ายจึงเป็นผลให้ความเค้นที่เกิดขึ้นลดต่ำลง และ สอง Stress superposition ซึ่งเป็นผลอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่แตะเข้าและจากออกกระหว่างเครื่องมือกับวัสดุด้วยความเร็วสูง ทำให้ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นลดต่ำลงและเพิ่มขึ้นจากการแตะเข้าและจากออกตลอดเวลา นอกจากช่วยลดค่าความเค้นที่เกิดขึ้นแล้วยังช่วยทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานหรือ friction coefficient ลดลงไปด้วย (CJ, Y, B, DB, และ B, 2016) (Haiyang, Hongzhi, & Qing, 2018) (Shaosong, et al., Plastic





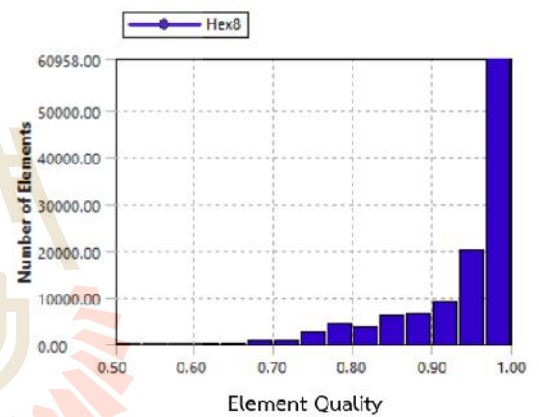
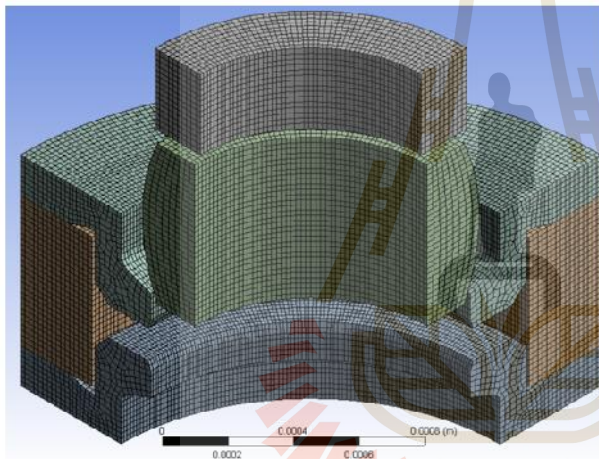
ตัดเอาชิ้นบางส่วนออก
 Driver Pin และ Swage
 Ball ออกไปเพื่อลดเวลาใน
 การวิเคราะห์หลังจากการลด
 จำนวนของ Element ใน
 การ Simulation.



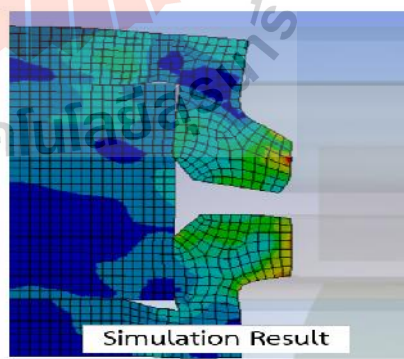
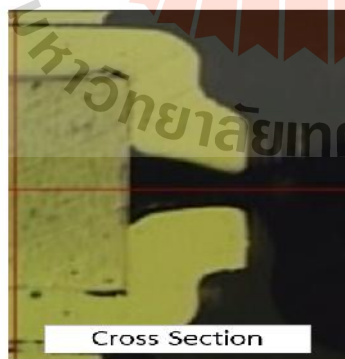
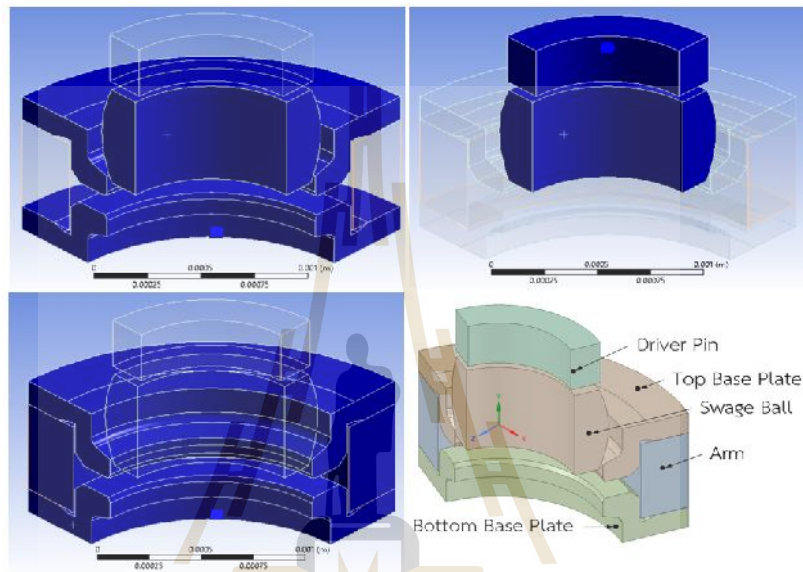


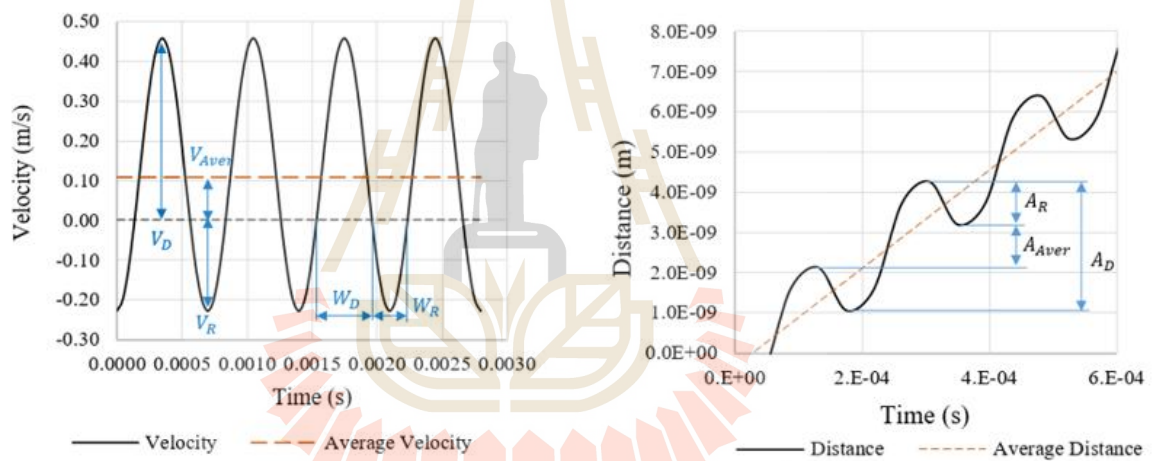
ชิ้นส่วน	ชนิดของวัสดุ (ASTM)	Density (Kg / m ³)	Young's Modulus (Pa)	Yield Strength (Pa)	Poisson's Ratios
Actuator Arm	B221	2,700	6.89E10	2.14E8	0.33
HGA Base Plate	A304L	8,030	1.93E11	2.76E8	0.24
Swage Ball	A403	7,805	2.00E11	3.10E8	0.30
Driver Pin	M2	8,140	2.07E11	2.40E9	0.24

ชิ้นส่วน	Volume (m ³)	Mass (Kg)	Nodes	Element	Element Quality		
					Min	Max	Aver
Arm	3.0E-10	8.1E-7	49300	44352	0.96	1.0	0.99
Top HGA Base Plate	1.6E-10	1.2E-07	32900	27720	0.67	1.0	0.92
Bottom HGA Base Plate	1.6E-10	1.2E-07	33300	28116	0.66	1.0	0.92
Swage Ball	1.4E-10	9.0E-7	15264	12896	0.83	0.93	0.92
Driver Pin	5.3E-11	4.1E-07	9504	7950	0.94	1.0	0.99



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

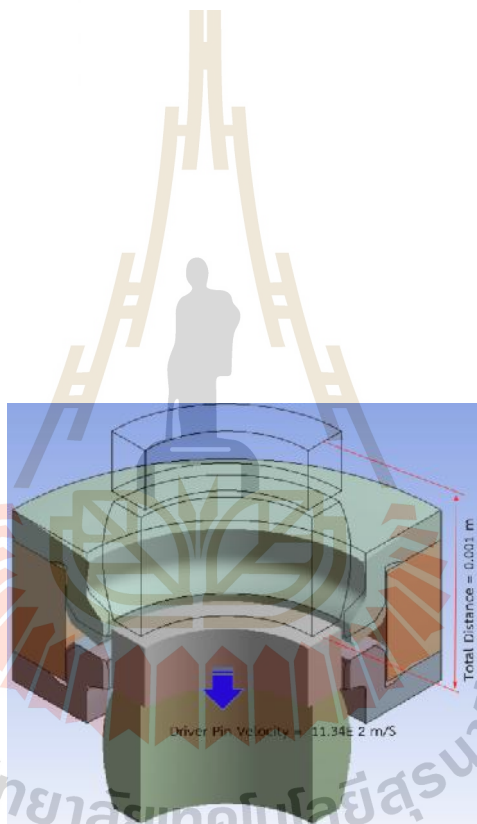
Figure 2.1

$$T_{Total} = L/V_{Aver}$$

T_{Total} คือ ระยะ

L คือ

V_{Aver} คือ



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การเคลื่อนที่เพื่อขับเคลื่อนและถอยกลับอยู่ที่ 2:1 ดังนั้นความเร็วขับเคลื่อนสูงสุดจะเท่ากับ 457.2 มิลลิเมตรต่อวินาที และความเร็วขับเคลื่อนถอยกลับสูงสุดจะเท่ากับ 228.6 มิลลิเมตรต่อวินาที โดยคำนวณจากสมการที่ (3.2) และ (3.3)

$$V_{Aver} = (V_D + V_R)/2 \quad (3.2)$$

$$V_D = -2V_R \quad (3.3)$$

เมื่อ V_D คือ ความเร็วขับเคลื่อนสูงสุด
 V_R คือ และความเร็วถอยกลับสูงสุด

3.6.3 ขนาด (Amplitude) และความถี่ (Frequency) ของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน ขนาดโดยเฉลี่ย (A_{Aver}) ของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันเป็นตัวแปรที่ถูกกำหนดขึ้นมาเพื่อใช้ในการจำลองการทำงาน นอกจากขนาดโดยเฉลี่ยแล้วยังมีขนาดของการขับเคลื่อน (V_D) และขนาดของการถอยกลับ (V_R) ของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันอีกด้วยตามที่ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 3.8 ข. โดยทั้งขนาดของการขับเคลื่อน และถอยกลับจะขึ้นกับ 4 ตัวแปรคือ ขนาดโดยเฉลี่ย ความเร็วขับเคลื่อนสูงสุด ความเร็วถอยกลับสูงสุด และความถี่ของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน คำนวณจากสมการที่ (3.4) ถึง (3.8)

$$f = V_{Aver}/A_{Aver} \quad (3.4)$$

$$W_D = (1/f) * (V_D/(V_D - V_R)) \quad (3.5)$$

$$W_R = (1/f) * (-V_R/(V_D - V_R)) \quad (3.6)$$

$$A_D = (V_D * W_D)/2 \quad (3.7)$$

$$A_R = (-V_R * W_R)/2 \quad (3.8)$$

เมื่อ f คือ ความถี่การสั่นของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน
 W_D คือ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ขับเคลื่อนของแกนขับในแต่ละรอบ

W_R คือ ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ถอยกลับของแกนขับในแต่ละรอบ

A_D คือ ขนาดของการเคลื่อนที่ในการขับเคลื่อนของแกนขับ ในแต่ละรอบ

A_R คือ ขนาดของการเคลื่อนที่ในการถอยกลับของแกนขับในแต่ละรอบ

3.6.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของไดรเวอร์พินแบบความเร็วแปรผันตามเวลา ลักษณะการเคลื่อนที่ของไดรเวอร์พินเมื่อมีความเร็วในการเคลื่อนที่แบบแปรผันตามเวลาได้แสดงเอาไว้ในรูปแบบที่ 3.8 ข. โดยความเร็วในการเคลื่อนที่ ณ เวลาใด ๆ สามารถคำนวณจากสมการที่ (3.9)

$$V_t = (V_D - V_R) * \sin(t * c)^2 - V_R \quad (3.9)$$

เมื่อ V_t คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของไดรเวอร์พิน

t คือ เวลาที่สนใจ

c คือ ค่าคงที่

3.7 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองการทำงาน

วิธีการตรวจสอบผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองการทำงานว่ามีความถูกต้องมากน้อยเพียงใดนั้นจะใช้การเปรียบเทียบค่าแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนที่ได้จากการจำลองการทำงานมาเทียบกับค่าที่ได้จากกระบวนการเสวจริง หากผลลัพธ์ที่ได้มีความใกล้เคียงกันก็จะนำแบบจำลองที่ได้นี้ไปทดลองปรับเปลี่ยนค่าขนาด (Amplitude) ของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของค่าแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนต่อไป หากค่าที่ได้แตกต่างกันอย่างชัดเจนก็จะทำการแก้ไขแบบจำลองให้ถูกต้องก่อน

3.8 หัวข้อที่ได้นำมาสรุปและวิเคราะห์ผล

- ลักษณะของค่าแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนจากการจำลองการทำงาน
- ลักษณะของค่าแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนจากกระบวนการเสวจริง
- เปรียบเทียบค่าแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนการจำลองการทำงานกับค่าที่ได้จากกระบวนการเสวจริง
- เปรียบเทียบค่าแรงที่ใช้ในการขับเคลื่อนที่เกิดขึ้นจากขนาดของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่ต่างกัน

บทที่ 4

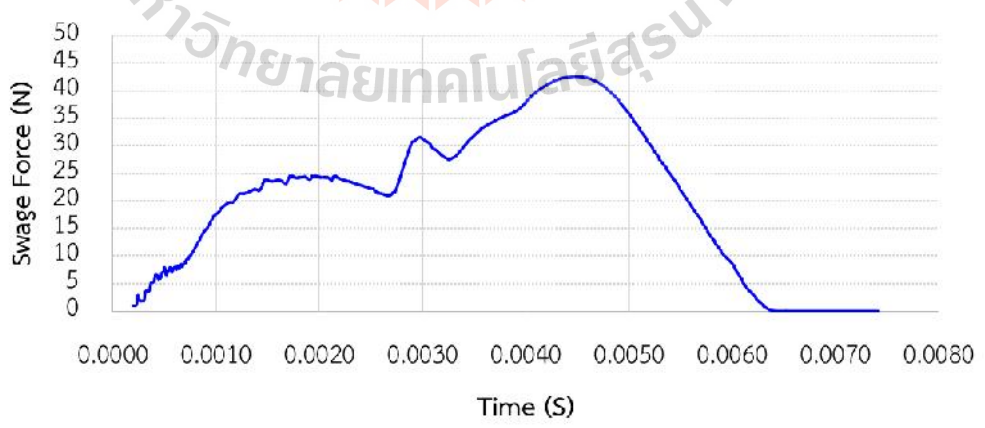
ผลการศึกษา และการวิเคราะห์ผล

4.1 บทนำ

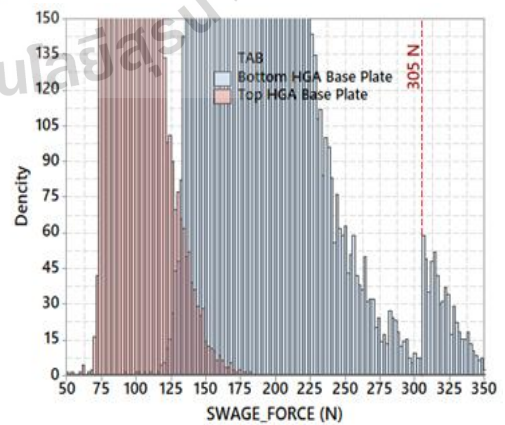
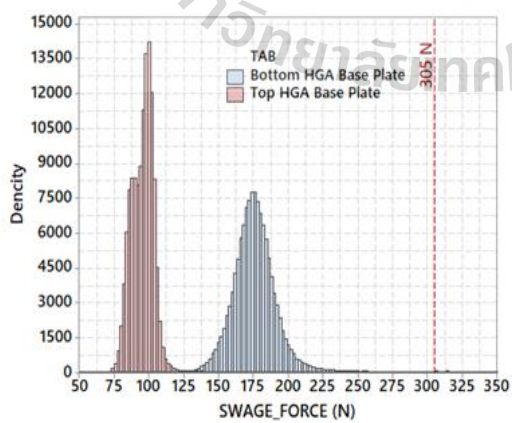
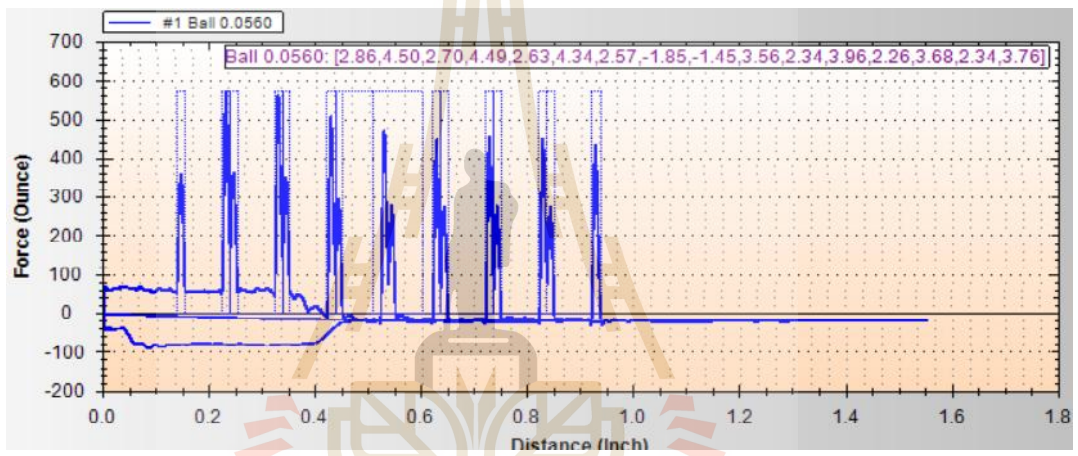
ในการจำลองการทำงาน (Simulation) ได้ทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของอัลตราโซนิกไวยเบรชัน (Ultrasonic vibration amplitude) ทั้งหมด 7 ค่า จุดประสงค์ของการทดลองปรับเปลี่ยนเพื่อศึกษาถึงลักษณะการเปลี่ยนแปลงและความสัมพันธ์ของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอล (Swage force) กับขนาดของอัลตราโซนิกไวยเบรชัน

4.2 แรงที่ใช้ในการจับลูกบอลที่ได้จากการจำลองการทำงาน

แรงที่ใช้ในการจับลูกบอลเกิดขึ้นจากการที่ไดรเวอร์พิน (Driver Pin) เคลื่อนตัวเข้าไปสัมผัสและจับให้ลูกบอลเสวจ (Swage Ball) เคลื่อนตัวเข้าไปขยายขนาดของรูเสวจ (Swage hole) ของเซจจีเอเบสเพลท (HGA base plate) แรงที่เกิดขึ้นจากการจำลองการทำงานได้ถูกนำมาเขียนเป็นกราฟเทียบกับเวลาเพื่อแสดงให้เห็นถึงลักษณะและการเปลี่ยนแปลงของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอล ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 4.1 กราฟที่ได้สามารถแบ่งแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลออกเป็นสองช่วงเวลาคือช่วงที่ของลูกบอลเสวจเคลื่อนตัวผ่านรูเสวจของเซจจีเอเบสเพลทตัวบนและช่วงที่ผ่านตัวล่างตามลำดับ



รูปที่ 4.1 ลักษณะของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลขณะที่วิ่งผ่านรูเสวจของเซจจีเอเบสเพลท



เมื่อนำแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลจากกระบวนการเสวจจริงมาเขียนเป็นกราฟแท่งโดยแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่อยู่ด้านบนของอาร์ม (Actuator arm) และกลุ่มที่อยู่ด้านล่าง เพราะทั้ง 2 กลุ่มมีขนาดของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลแตกต่างกันมาก และเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.3

4.4 เปรียบเทียบค่าแรงจากการจำลองกับค่าที่ได้จากกระบวนการเสวจจริง

เพื่อตรวจสอบค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลที่ได้จากการจำลองการทำงานว่ามีความถูกต้องหรือใกล้เคียงกับผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการทำงานจริงมากน้อยเพียงใด ค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลที่ได้จากทั้งสองวิธีการซึ่งอยู่ภายใต้สภาพเงื่อนไขการทำงานที่เหมือนกัน จากหัวข้อที่ 4.2 และ 4.3 ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกันตามที่ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 โดยค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลที่ได้มีค่าความต่างโดยประมาณอยู่ที่ +3 นิวตันหรือ +3.14% สำหรับตัวเสวจที่เอเบสเพลทที่อยู่ด้านบนของอาร์มและ -8.1 นิวตันหรือ -4.57% เสวจที่เอเบสเพลทที่อยู่ด้านล่างของแขนขับเคลื่อน

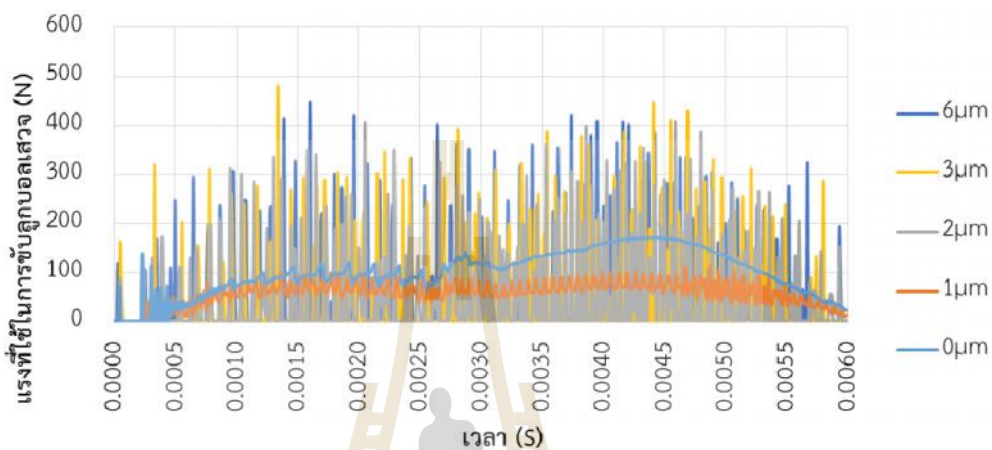
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอล

ชิ้นส่วน	ค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอล (N)		ความต่าง (%)
	กระบวนการจริง	จำลองการทำงาน	
HGA Base Plate ด้านบน Actuator Arm	95.5	98.5	+ 3.14
HGA Base Plate ด้านล่าง Actuator Arm	177.1	169.0	- 4.57

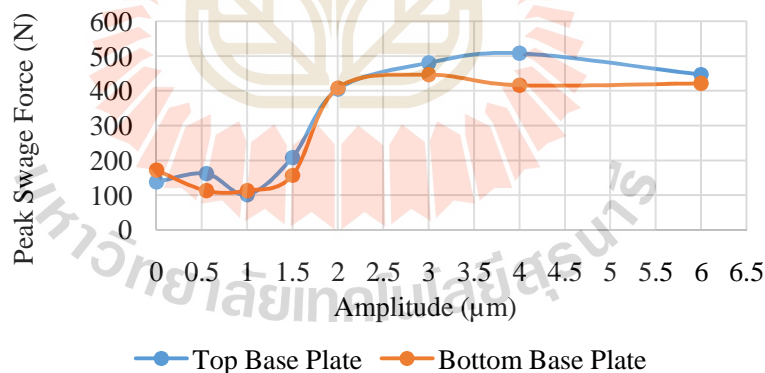
4.5 เปรียบเทียบค่าแรงจากการปรับขนาดของอัลตราโซนิคไวเบอร์ชันที่ต่างกัน

ลักษณะของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลจากการจำลองการทำงานซึ่งได้ประยุกต์ใช้อัลตราโซนิคไวเบอร์ชันเข้าไปนั้นจะมีแกว่งขึ้นลงตามจังหวะการสั่นของอัลตราโซนิคไวเบอร์ชันตามที่ได้แสดงเอาไว้ในรูปที่ 4.4 จากรูปเห็นได้ว่าค่าต่ำสุดและสูงสุดของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลในรอบการสั่นเดียวกันนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมากโดยเฉพาะเมื่อขนาดของอัลตราโซนิคไวเบอร์ชันได้เพิ่มมากขึ้น การนำเอาค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลมาเปรียบเทียบกันอาจยังไม่สามารถทำได้โดยทันที ดังนั้นจึงได้นำเอาค่าที่ใช้ในการจับลูกบอลสูงสุด (Peak swage force) และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ (Moving average) มาช่วยในการเปรียบเทียบ โดยทั้งสองค่าได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และ 4.6 จากรูปเห็นได้ว่าขนาดของอัลตราโซนิคไวเบอร์ชันที่ต่างกันทำให้ค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลต่างกันทั้งแบบค่าแรงสูงสุด และค่าแรงแบบเฉลี่ยเคลื่อนที่ ในการคำนวณการเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ได้ให้นำเอาชุด

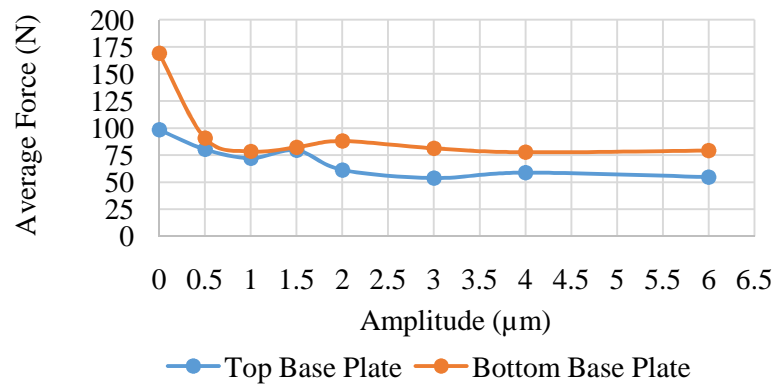
ข้อมูลทุก ๆ 50 ข้อมูลมาทำการเฉลี่ยค่าแล้วขยับต่อไปทีละ 1 ข้อมูล ทั้งนี้ข้อมูลที่น่ามาเขียนเป็นกราฟได้มีการคูณด้วย 4 เข้าไปในทุก ๆ ข้อมูลอันเนื่องมาจากการจำลองการทำงานได้ใช้แบบจำลองเพียงแค่ 1 ใน 4 ส่วนของแบบเต็ม ดังนั้นแรงที่ใช้ในการจับที่ได้จึงมีขนาดเพียงแค่ 1 ใน 4 ส่วนของแรงที่ต้องใช้จริงเช่นกัน



รูปที่ 4.4 ค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลจากการประยุกต์ใช้ของอัลตราโซนิกไวกเบรชัน



รูปที่ 4.5 ค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการจับลูกบอลจากการประยุกต์ใช้ของอัลตราโซนิกไวกเบรชัน



ขนาด (μm)	ความถี่ (kHz)	Top HGA base Plate		Bottom HGA base plate	
		แรง (N)	% การลดลง	แรง (N)	% การลดลง
0.0	0	98.5	-	169.0	-
0.5	228.60	80.4	18.38	90.9	46.21
1.0	114.30	72.3	26.60	78.6	53.49
1.5	76.20	79.5	19.29	82.4	51.24
2.0	57.15	61.4	37.66	88.2	47.81
3.0	38.10	54.0	45.18	81.4	51.83
4.0	28.58	58.9	40.20	77.8	53.96
6.0	19.05	54.9	44.26	79.4	53.02

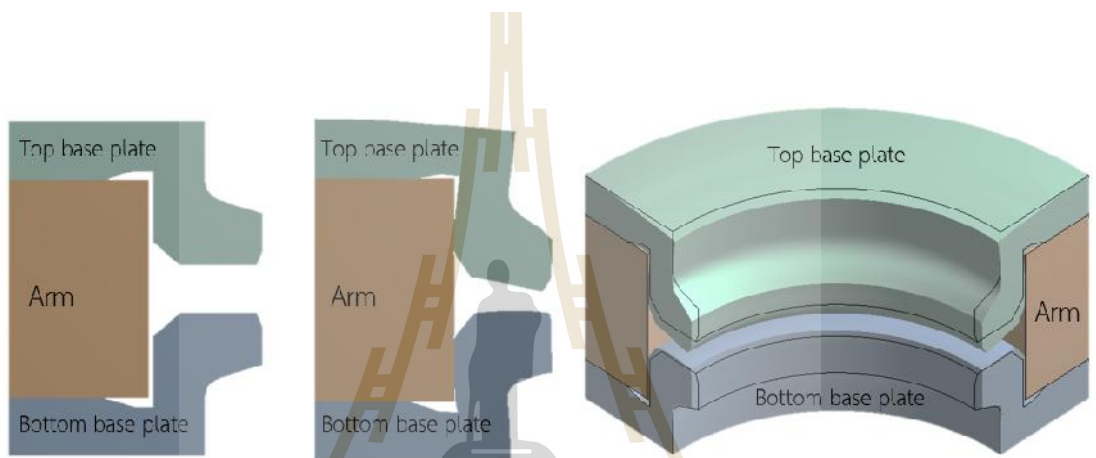
บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การนำอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันเข้ามาประยุกต์ใช้กับกระบวนการเสวจด้วยลูกบอลซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนของการประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูล (Head stack assembly) ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ (Hard disk drive) การศึกษาครั้งนี้ได้นำเอาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เข้ามาใช้เพื่อช่วยในการศึกษา และวิเคราะห์ผลด้วยการจำลองกระบวนการทำงานโดยใช้ซอฟต์แวร์ ANSYS ขั้นตอนในการดำเนินการศึกษาทดลองจนขอบเขตของการศึกษาได้อธิบายเอาไว้ในเนื้อหาของบทที่ 3 ผลที่ได้จากการศึกษาและทดลองได้ถูกนำมารวบรวม และวิเคราะห์ผลเอาไว้ในเนื้อหาของบทที่ 4 สำหรับเนื้อหาในบทที่ 5 นี้เป็นการสรุปผลจากการทดลองโดยแบ่งออกเป็นหัวข้อได้ดังต่อไปนี้

5.1 อิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่มีต่อแรงที่ใช้ในการจับลูกบอล

ผลที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าอิทธิพลของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันช่วยทำให้แรงที่ใช้ในการจับลูกบอลลดลง และสอดคล้องกับผลจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แต่ทั้งนี้อิทธิพลจากอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่ส่งผลต่อแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลนั้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของขนาดของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน ในการพิจารณาว่าขนาดของของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันที่เท่าใดจึงจะถือว่าเหมาะสมที่สุดจำเป็นต้องพิจารณาจากค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการจับลูกบอลแสดงไว้ในรูปที่ 4.5 และค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่ของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 4.6 ในการจำลองกระบวนการทำงานได้กำหนดขนาดความเร็วเฉลี่ยการเคลื่อนที่ของแกนจับเคลื่อนเอาไว้ที่ 114.3 มิลลิเมตรต่อวินาที และทำการปรับเพิ่มขนาดของอัลตราโซนิกไวเบอร์ชันโดยเริ่มจาก 0 ไมโครเมตร ซึ่งเป็นการจำลองกระบวนการเสวจแบบปัจจุบันที่ยังไม่ได้ประยุกต์ใช้อัลตราโซนิกไวเบอร์ชัน และปรับขึ้นไปเป็น 0.5 1 1.5 2 3 4 และ 6 ไมโครเมตรตามลำดับเพื่อที่จะศึกษาถึงลักษณะของแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลที่เกิดขึ้น ผลที่ได้จากการทดลองสามารถแบ่งแรงที่ใช้ออกเป็น 2 ช่วงคือ ช่วงที่ลูกบอลเสวจผ่านเข้าไปขยายเฮกซ์เจอบอสเพลทที่ติดอยู่ด้านบนของอาร์ม และช่วงที่ลูกบอลเสวจผ่านเข้าไปขยายเฮกซ์เจอบอสเพลทที่ติดอยู่ด้านล่างของอาร์ม



37.66% 45.18% 40.20% และ 44.26% เมื่อปรับเพิ่มขนาดของอัลตราโซนิกไวเบรชันจาก 0 ขึ้นไป เป็น 0.5 1 1.5 2 3 4 และ 6 ไมโครเมตรตามลำดับ และช่วยทำให้ค่าเฉลี่ยแบบเคลื่อนที่ของแรงที่ใช้ ในการจับลูกบอลบนเฮชจีเอสเพลทที่อยู่ด้านล่างของอาร์มลดลง 46.21% 53.49% 51.24% 47.81% 51.83% 53.96% และ 53.02% เมื่อปรับเพิ่มขนาดของอัลตราโซนิกไวเบรชันจาก 0 ขึ้นไป เป็น 0.5 1 1.5 2 3 4 และ 6 ไมโครเมตรตามลำดับ

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากขนาดของค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างเฮชจีเอสเพลทที่ติดอยู่ทั้งด้านบนกับด้านล่างของอาร์ม ซึ่งยังไม่สามารถทราบถึงสาเหตุที่แน่ชัดที่ทำให้เกิดความต่างขึ้นมาได้ ทั้งนี้ผู้ทำวิจัยได้สังเกตเห็นลักษณะการเสียรูปของเฮชจีเอสเพลทมีความต่างกัน โดยที่เฮชจีเอสเพลทที่ติดอยู่ด้านบนมีการเปลี่ยนรูปร่างในลักษณะยืดตัวออกไปตามแนว การเคลื่อนที่ของลูกบอลเสมอแต่ในขณะที่เฮชจีเอสเพลทที่ ติดอยู่ด้านล่างมีการเปลี่ยนรูปร่างใน ลักษณะที่ถูกกดให้เกิดการยุบตัวไปตามแนวตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของลูกบอลเสมอซึ่งอาจ เป็นสาเหตุของความต่าง การศึกษาเพิ่มเติม โดยละเอียดในเรื่องนี้จึงมีความสำคัญเพื่อที่จะทำให้ เข้าใจ ถึงความสัมพันธ์ของค่าแรงที่ใช้ในการจับลูกบอลกับขนาดของอัลตราโซนิกไวเบรชัน



รายการอ้างอิง

1. Amini, S., Gollo, A. H., & Paktinat, H. (2017). An investigation of conventional and ultrasonic-assisted incremental forming of annealed AA1050 sheet. Springer, 1569-1578.
2. C.J. Wang, Y. Liu , B. Guo, D.B. Shan, B. Zhang. Acoustic softening and stress superposition in ultrasonic vibration assisted uniaxial tension of copper foil: Experiments and modeling. *Materials & Design*. 2016; 112: 246-253
3. Dheeravongkit, A., & Tirasuntarakul, N. (2011). Optimizing Swage Ball's Parameters in the Hard Disk Drive Swaging Process using Finite Element Analysis. South East Asia Abaqus Users' Conference. Sentosa, Singapore: Institute of Field robotics, King Mongkut's University of Technology Thonburi.
4. Gatea, S., Ou, H., & McCartney, G. (2016). Review on the influence of process parameters in incremental sheet forming. Springer Publishing, 479–499.
5. Haiyang Zhou, Hongzhi Cui, Qing H. Qin. Influence of ultrasonic vibration on the plasticity of metals during compression process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2018; 251: 146-159.
6. Jongpradist, P., Rojbunsongsri, R., & Chatchapol, S. (2009). Optimized baseplate geometry for ball swaging process by using finite element analysis. *Songklanakarin Journal of science and technology*, 533-540.
7. Jung-Chung , H., & Hung, C. (2005). The influence of ultrasonic-vibration on hot upsetting of aluminum alloy. *ELSEVIER*, 692-698.
8. Jung-Chung Hung, Chih-Chia Lin. Investigations on the material property changes of ultrasonic-vibration assisted aluminum alloy upsetting. *Materials & Design*. 2013; 45 : 412-420
9. Li, Y., Chena, X., Suna, J., Li, J., & Zhao, G. (2017). Effects of ultrasonic vibration on deformation mechanism of incremental point-forming process. *International Conference on the Technology of Plasticity* (pp. 777–782). Cambridge, United Kingdom: ELSEVIER.

10. Liu Wei, Zhang Hong-ying. Effect analysis of parameters upon deformation force of sheet metal forming on incremental with vibration. 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering; 26-28 June 2010; Wuhan, China. 2010. p. 3574-3577.
11. Pengyang Li, Jin He, Qiang Liu, Mingshun Yang, Quandai Wang, Qilong Yuan, Yan Li. Evaluation of forming forces in ultrasonic incremental sheet metal forming. *Aerospace Science and Technology*. 2017; 63: 132-139.
12. Saeed Bagherzadeh, Karen Abrinia. Effect of Ultrasonic Vibration on Compression Behavior and Microstructural Characteristics of Commercially Pure Aluminum. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2015; 24: 4364-4376.
13. Saeid AminiEmail, Ahmad Hosseinpour, GolloHossein Paktinat. An investigation of conventional and ultrasonic-assisted incremental forming of annealed AA1050 sheet. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017; 90 : 1569-1578.
14. Shaosong Jiang, Yong Jia, Hongbin Zhang, Zhihao Du, Zhen Lu, Kaifeng Zhang, Yushi He, Ruizhuo Wang. Plastic Deformation Behavior of Ti Foil Under Ultrasonic Vibration in Tension. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2017; 26: 1769-1775
15. Vahdati, M., Mahdavinejad, R., & Amini, S. (2017). Investigation of the ultrasonic vibration effect in incremental sheet metal forming process. *SAGE Journals*, 971-982.
16. Wei, L., & Hong-ying, Z. (2010). Effect analysis of parameters upon deformation force of sheet metal forming on incremental with vibration. *IEEE*.
17. Xin-cun ZHUANG, Jia-peng WANG, Huan ZHENG, Zhen ZHAO. Forming mechanism of ultrasonic vibration assisted compression. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2015; 25 : 2352-2360.
18. Y, L., B, G., DB, S., B, Z., & Wang, C. (2016). Acoustic softening and stress superposition in ultrasonic vibration assisted uniaxial tension of copper foil: experiments and modeling. *ELSEVIER*, 246-253.
19. Y, L., He, J., Chen, H., & Long, M. (2017). Effects of vibration amplitude and relative grain size on the rheological behavior of copper during ultrasonic-assisted microextrusion. *Springer*, 2421-2433.

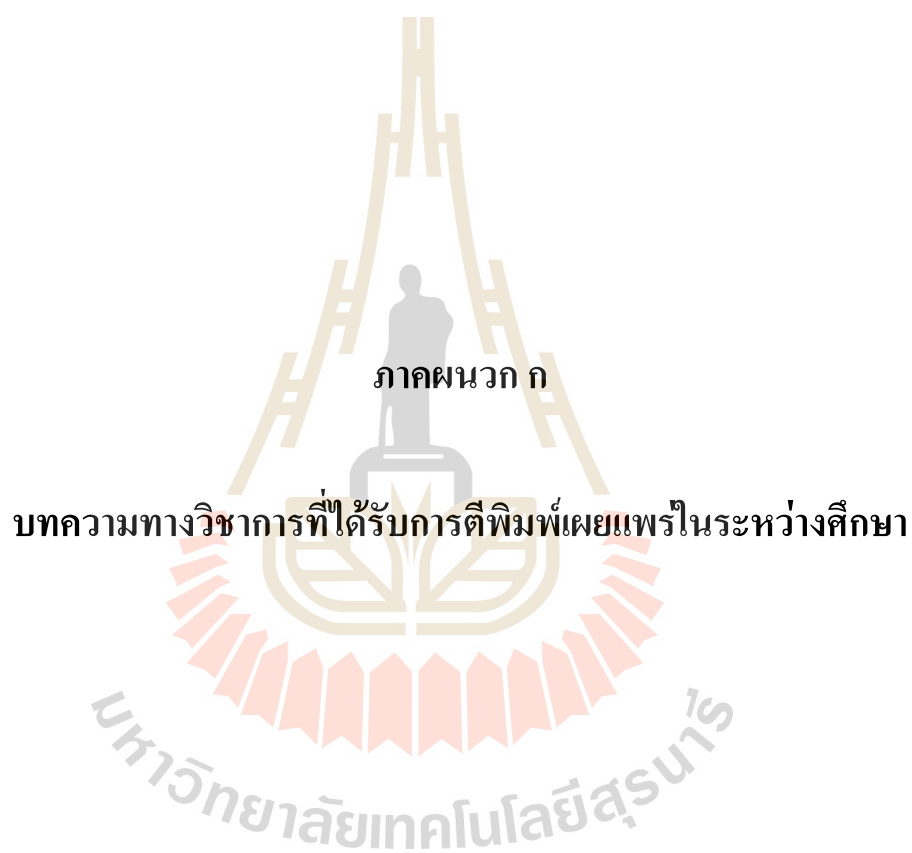
20. Y. Lou, J.S. He, H. Chen, M. Long. Effects of vibration amplitude and relative grain size on the rheological behavior of copper during ultrasonic-assisted microextrusion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017; 89: 2421-2433
21. Yanle Li, Xiaoxiao Chen, Jie Sun, Jianfeng Li, Guoqun Zhao. Effects of ultrasonic vibration on deformation mechanism of incremental point-forming process. In Julian Allwood, editors. *International Conference on the Technology of Plasticity; 17-22 September 2017; Cambridge, United Kingdom; ELSEVIER; 2017. p.777-782.*
22. Yanxiong, L., Sergey, S., Qingyou, H., Lin, H., & Clause, X. (2013). Comparison Between Ultrasonic Vibration-Assisted Upsetting and Conventional Upsetting. Springer, 3232–3244.
23. Zhehe, Y., Gap-Yong, K., Zhihua, W., LeAnn, F., Qingze, Z., Deqing, M., & Zichen, C. (2012). Acoustic softening and residual hardening in aluminum: Modeling and experiments. *ELSEVIER*, 75-87.
24. ZheheYao, Gap-Yong Kim, LeAnn Faidley, Qingze Zou, Deqing Mei, Zichen Chen. Effects of superimposed high-frequency vibration on deformation of aluminum in micro/meso-scale upsetting. *Journal of Materials Processing Technology*. 2012; 212: 640-646.
25. Zhendong Xie, Yanjin Guan, Jiqiang Zhai, Lihua Zhu, Chongkai Zhong. Study on ultrasonic vibration assisted upsetting of 6063 aluminum alloy. In Julian Allwood, editors. *International Conference on the Technology of Plasticity. 17-22 September 2017; Cambridge, United Kingdom; ELSEVIER; 2017. p. 490-495*
26. ชูติมา, ส., กำเนิดทอง, ท., & แสงसानนท์, ส. (2009). การวิเคราะห์และปรับปรุงกระบวนการ Swaging สำหรับการประกอบ HSA ของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์. *The 23rd Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand*. Chiang Mai: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

จาก หนังสือ

1. ปราโมทย์ เดชะอำไพ, ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, ISBN : 9789740336556, ปีพิมพ์ : 6 / 2560

จาก WEBSITE

1. พรเฉลิมพงศ์, ผ. (2019, July 31). Stress / ความเค้น. Retrieved from Food Network Solution: <http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/2540/stress-%E0%B8%84%E0%B8%A7%E0%B8%B2%E0%B8%A1%E0%B9%80%E0%B8%84%E0%B9%89%E0%B8%99>
2. VICTOR, C. A. (2017, 10 15). TECH COFFEE HOUSE. Retrieved 03 25, 2018, from techcoffeehouse.com: <https://i0.wp.com/techcoffeehouse.com/wp->
3. Thaimetrodes. (2018, May). Mesh กับ SOLIDWORKS Simulation. Retrieved from metrosystems-des.com: <https://metrosystems-des.com/mesh-%E0%B8%81%E0%B8%B1%E0%B8%9A-solidworks-simulation/>
4. Upsetting Process : An Overview. (n.d.). Retrieved from <http://msvs-dei.vlabs.ac.in>: http://msvs-dei.vlabs.ac.in/upsetting_process.php
5. Metal Extrusion. (n.d.). Retrieved from thelibraryofmanufacturing: <https://thelibraryofmanufacturing.com/extrusion.html>
6. Metrics for Quadrilateral Elements. (n.d.). Retrieved from Home > CUBIT User's Manual: https://cubit.sandia.gov/public/13.2/help_manual/WebHelp/mesh_generation/mesh_quality_assessment/quadrilateral_metrics.htm
7. Engineering Material . (2019, January 24). Retrieved from mech4study.com: <http://www.mech4study.com/2019/01/what-is-heat-treatment-processes.html>
8. Bourne, N. K. (2016, February 17). Viewpoint: Unexpected Twins. Retrieved from physics.aps.org: <https://physics.aps.org/articles/v9/19>
9. Damjanović, Ž. (2015, 04 27). HDD head assembly. Retrieved 03 25, 2018, from hddsurgery.com: <http://hddsurgery.com/blog/hdd-head-assembly>



ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Chat Chaiboon, Teetut Dolwichai. **Analysis of using Ultrasonic Vibration on Ball-Swaging Process for Head Stack Assembly of Hard Disk Drive by Finite Element Method,**
5 PP.



Analysis of using Ultrasonic Vibration on Ball-Swaging Process for Head Stack Assembly of Hard Disk Drive by Finite Element Method

¹CHAT CHAIBOON, ²TEETUT DOLWICHAI

^{1,2}School of Mechanical Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, 111 University Avenue Muang, Nakhon Ratchasima 30000, THAILAND

Email: ¹Chatboon.ch@gmail.com, ²prapun@sut.ac.th
Contact: ¹66-942-617-667

Abstract: This paper presents the numerical analysis of using ultrasonic vibration on the traditional ball-swaging process to reduce nonconforming parts in Head Stack Assembly manufacturing. In the current ball-swaging process, high excessive force (>305 N) from a motor through swage's driver-pin could cause the damage to adjacent HGA boss hole and result in a nonconforming part. To prevent such damage, the reduction of the applied force magnitude is favorable. This study aims to determine the influence on the force in the ball-swaging process when applying ultrasonic vibration with amplitudes ranging from 1 – 6 μm . Finite Element Method was used in this study and carried out using ANSYS commercial software. The analysis showed that by applying ultrasonic vibration could reduce swage-force up to 53.96%.

Index terms: Ultrasonic Vibration, Ball-Swaging Process, Swage-Force, Head Stack Assembly.

I. INTRODUCTION

Head Stack Assembly (HSA) is a component of Hard Disk Drive (HDD), which responsible for reading and writing data onto media. Ball-swaging is a subprocess in HSA manufacturing, and its purpose is to attach Head Gimbal Assembly (HGA) to Actuator Arm. Swage-ball is used in the attaching between HGA and Actuator Arm; it will be driven by driver-pin through HGA boss hole, resulting in HGA boss expanded and bonded to Actuator Arm as illustrated in figure 1.

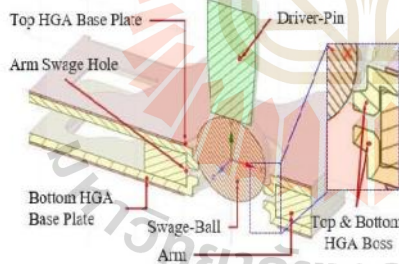


Figure 1: Overview of ball-swaging process.

After swage-ball went through HGA boss hole, driver-pin will be returned to the original position and leave the swage-ball drop into a swage-ball silo.

Swage-force or a driven force from a motor through driver-pin is a critical parameter for the ball-swaging process. The excessive swage-force could cause driver-pin bent from its normal position and hit onto the adjacent HGA boss hole. The average defect rate of this damage, collected from June to December 2018, was running at 0.27% as summarized in table 1.

Table 1: Damaged HGA boss hole defect rate.

Month	Input (Count)	Defect (Count)	Defect (%)
June	315825	3373	1.07
July	290167	626	0.22
August	290895	666	0.23
September	415428	416	0.10
October	348090	80	0.02
November	348863	519	0.15
December	101280	113	0.11
Total	2110548	5793	0.27

More than 200 damaged HGA boss holes were sampled for further study. It had been found that all of the samples were subjected to the higher swage-force which higher than 305 N. Swage-force distribution were plotted and illustrated in figure 2, and the defect symptom is illustrated in figure 3.

The magnitude of the excessive swage-force is yielded upon many factors such as swage-ball dimeter, HGA Boss-hole dimeter, HGA Boss forming dimension, the friction coefficient between swage-ball and HGA-boss, etc. In the current ball-swaging process, the swage-

force is still uncontrollable and has the potential to damages HGA boss hole. Therefore, maintaining the swage-force magnitude as small as possible is a challenge to fix the issue.

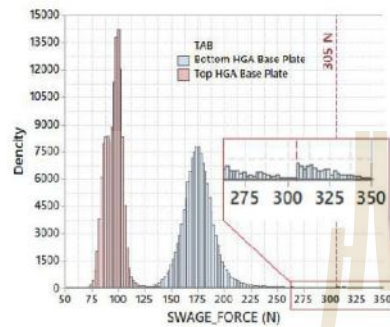


Figure 2: Individual value plot of swage-force.

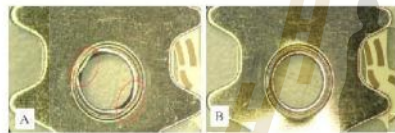


Figure 3: Damaged (A) and good HGA boss hole (B).

The integration of ultrasonic vibration into the traditional process is one of the promising methods that were introduced and has been widely studied in metal forming processes. Results showed that the influence of ultrasonic vibration was remarkable and able to reduce the forming force. Some of the relevant research aspects include;

- 1) Applying ultrasonic-vibration on the traditional Single Point Incremental Forming. The Influence of ultrasonic-vibration induced to lower forming force [1] [2] [3] [4], better surface quality [1], higher material formability and lower spring-back [2].
- 2) Applying ultrasonic-vibration on the traditional Metal Extrusion. The Influence of ultrasonic-vibration induced to lower material stress and forming force, lower friction coefficient between forming part and die, higher material formability and better surface quality [5].
- 3) Applying ultrasonic-vibration on the traditional Metal Upsetting. The Influence of ultrasonic-vibration induced to lower material stress [6] [7], lower forming force and friction coefficient [8] [9] [10].

4) Applying ultrasonic-vibration on the Tension and Compression Tests were studied, the result showed that the stress superposition and acoustic softening phenomenon were generated by ultrasonic-vibration. Both phenomena induced the forming force and stress to lower [11] [12] [13].

However, the integration of ultrasonic vibration on the ball-swaging process has not been done or mentioned. This paper will determine the influence of ultrasonic vibration on swage-force in the ball-swaging process by numerical analysis. Simulations were carried out by the Finite Element Method (FEM) using ANSYS commercial software.

II. FINITE ELEMENT MODEL PREPARATION.

Simplified 3D CAD assembly model of an Actuator Arm and top/bottom HGA base plates were imported for the finite element model. Only a quarter of the model was used in the simulation as illustrated in figure 4.

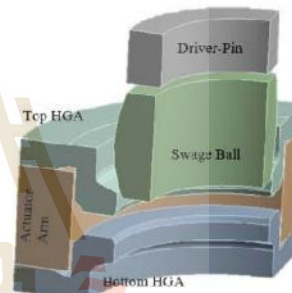


Figure 4: Finite Element Model

Material properties used in the simulation are illustrated in table 1, and Hexagonal mesh type were assigned to the model. The maximum mesh size was limited at 0.02 mm.

Table 2: Material properties

Property	Arm	HGA	Swage Ball	Driver Pin
Material(ASTM)	B221	A304L	A403	M2
Density (Kg/m ³)	2,700	8,030	7,805	8,140
Young's Modulus (Pa)	6.8E10	1.9E11	2.0E11	2.0E11
Yield Strength (Pa)	2.1E8	2.7E8	3.1E8	2.4E9
Poisson's Ratios	0.33	0.24	0.30	0.24

III. ANALYSIS SETTING

Ultrasonic vibration is integrated into the current driver-pin movement setting, and it transforms the driver-pin velocity from constant to variable and dependent of time. The difference between these two velocity types is illustrated in figure 5, and the driver-pin moving sequence is illustrated in figure 6.

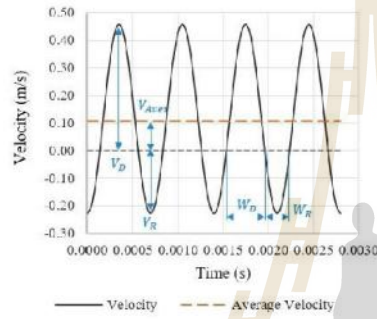


Figure 5: Compare driver-pin velocity type.

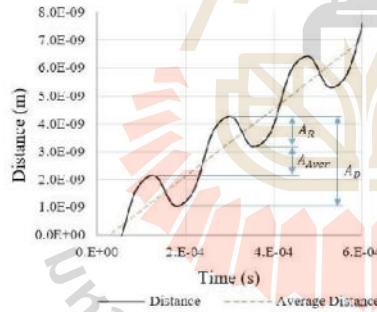


Figure 6: Driver-pin moving sequence

In this simulation study, the average velocity (V_{Aver}) of driver-pin was fixed at 0.114 m/s, amplitude (A_{Aver}) of ultrasonic vibration was varied from 2 – 6 μm . The variable velocity (V_t) is determined by the equations (1) – (8)

$$V_t = (V_D - V_R) * \sin(t * c)^2 - V_R \quad (1)$$

$$V_{Aver} = (V_D + V_R)/2 \quad (2)$$

$$V_D = -2V_R \quad (3)$$

$$f = V_{Aver}/A_{Aver} \quad (4)$$

$$W_D = (1/f) * (V_D/(V_D - V_R)) \quad (5)$$

$$W_R = (1/f) * (-V_R/(V_D - V_R)) \quad (6)$$

$$A_D = (V_D + W_D)/2 \quad (7)$$

$$A_R = (-V_R * W_R)/2 \quad (8)$$

When V_D and V_R are the maximum of driver-pin velocity in driving and returning state. W_D and W_R are the driver-pin traveling time in driving and returning state. A_D and A_R are the maximum of driver-pin amplitude in driving and returning state. t is variable time. f is vibration frequency and c is a constant number.

In this study, the contact force between driver-pin and swage-ball (figure 4) was assumed as a reaction force that represents actual driven force (swage-force) from the motor through driver-pin.

IV. RESULT AND DISCUSSION

The simulation model consists of top and bottom HGA boss, both of them were expanded by swage-ball within two different time frames (0.000 - 0.003 and 0.003 - 0.006 sec.) as illustrated in figure 7. Therefore, the analysis will be separated into 2 portions, top and bottom HGA base plate.

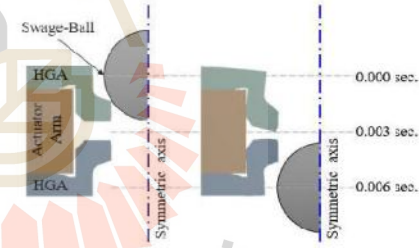


Figure 7: Swage-ball traveling time.

The swage-force data was retrieved from the simulation in every 0.01ms, and its peak forces from the different vibration amplitudes (0 – 6 μm) of both top and bottom HGA base plate were plotted and showed in figure 8.

The swage-force result of the simulation shows periodic back and forth over the time following vibration frequency, and the vibration amplitude induces its magnitude. The higher vibration amplitude resulted in a

III. ANALYSIS SETTING

Ultrasonic vibration is integrated into the current driver-pin movement setting, and it transforms the driver-pin velocity from constant to variable and dependent of time. The difference between these two velocity types is illustrated in figure 5, and the driver-pin moving sequence is illustrated in figure 6.

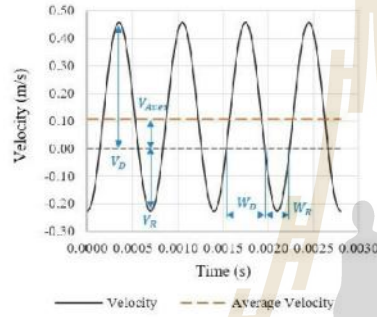


Figure 5: Compare driver-pin velocity type.

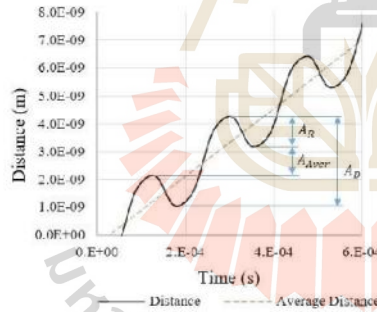


Figure 6: Driver-pin moving sequence

In this simulation study, the average velocity (V_{Aver}) of driver-pin was fixed at 0.114 m/s, amplitude (A_{Aver}) of ultrasonic vibration was varied from 2 – 6 μm . The variable velocity (V_t) is determined by the equations (1) – (8)

$$V_t = (V_D - V_R) * \sin(t * c)^2 - V_R \quad (1)$$

$$V_{Aver} = (V_D + V_R)/2 \quad (2)$$

$$V_D = -2V_R \quad (3)$$

$$f = V_{Aver}/A_{Aver} \quad (4)$$

$$W_D = (1/f) * (V_D/(V_D - V_R)) \quad (5)$$

$$W_R = (1/f) * (-V_R/(V_D - V_R)) \quad (6)$$

$$A_D = (V_D + W_D)/2 \quad (7)$$

$$A_R = (-V_R * W_R)/2 \quad (8)$$

When V_D and V_R are the maximum of driver-pin velocity in driving and returning state. W_D and W_R are the driver-pin traveling time in driving and returning state. A_D and A_R are the maximum of driver-pin amplitude in driving and returning state. t is variable time. f is vibration frequency and c is a constant number.

In this study, the contact force between driver-pin and swage-ball (figure 4) was assumed as a reaction force that represents actual driven force (swage-force) from the motor through driver-pin.

IV. RESULT AND DISCUSSION

The simulation model consists of top and bottom HGA boss, both of them were expanded by swage-ball within two different time frames (0.000 - 0.003 and 0.003 - 0.006 sec.) as illustrated in figure 7. Therefore, the analysis will be separated into 2 portions, top and bottom HGA base plate.

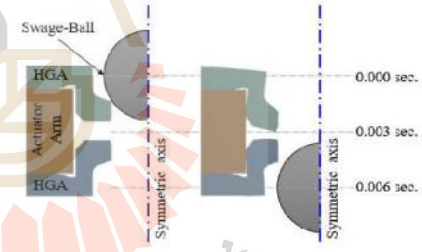


Figure 7: Swage-ball traveling time.

The swage-force data was retrieved from the simulation in every 0.01ms, and its peak forces from the different vibration amplitudes (0 – 6 μm) of both top and bottom HGA base plate were plotted and showed in figure 8.

The swage-force result of the simulation shows periodic back and forth over the time following vibration frequency, and the vibration amplitude induces its magnitude. The higher vibration amplitude resulted in a

higher peak force and a larger peak-to-peak size. To compare the different swage-forces to each other, the backward moving average method was used to average 50 points of the existing force data. The moving average forces were plotted as illustrated in figure 9.

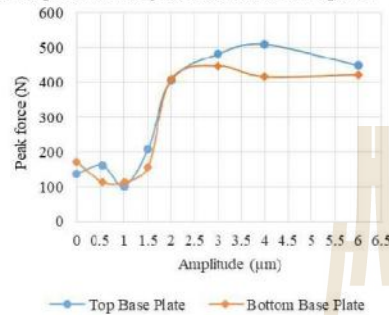


Figure 8: Peak force from different amplitudes.

The peak force from the different vibration amplitudes is significantly different and able to classify to be two groups that lower and higher than 300N. The vibration amplitude from 0 to 1.5 µm gives the lower peak force, and the vibration amplitude from 2µm onwards gives the higher peak force.

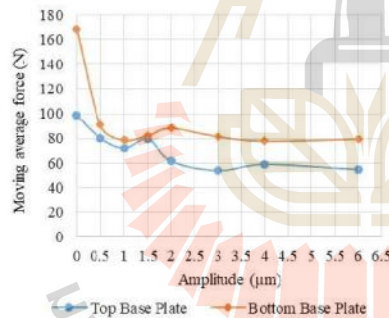


Figure 9: Moving average swage-forces.

The result shows that overall swage-forces from the top HGA base plate (0.000-0.003 sec) is lower than the bottom (0.003-0.006 sec). Also, the swage-force has a lower trend when given vibration amplitude between 0 to 1 µm. However, when given more vibration amplitude > 1µm the swage-force and the amplitude are not proportional together. The swage forces from the

different vibration amplitudes were summarized and illustrated in table 3.

Table 3: Swage-force from the different amplitudes.

Amplitude (µm)	Freq (kHz)	Top HGA		Bottom HGA	
		Force (N)	% Reduction	Force (N)	% Reduction
0.0	0	98.5	-	169.0	-
0.5	228.60	80.4	18.38	90.9	46.21
1.0	114.30	72.3	26.60	78.6	53.49
1.5	76.20	79.5	19.29	82.4	51.24
2.0	57.15	61.4	37.66	88.2	47.81
3.0	38.10	54.0	45.18	81.4	51.83
4.0	28.58	58.9	40.20	77.8	53.96
6.0	19.05	54.9	44.26	79.4	53.02

Further analysis is needed to determine why the swage-force outcome between the top and bottom HGA base plate is different. One observation was found that top HGA boss had more deformed and bending compared to the bottom HGA boss which compressed by the swage-ball as illustrated in figure 10. This different behavior might determine the difference in induced swage-force.

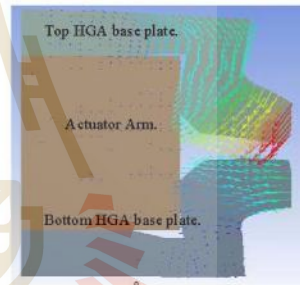


Figure 10: HGA boss deformation behavior.

To verify whether the simulation represents the actual ball-swaging process or not, the swage-force was simulated under zero vibration amplitude and frequency, which represents the actual condition, and compared with actual ball-swaging process result as illustrated in table 4.

Table 4: Compare swage-force between actual and simulation process.

Parts	Average swage-force (N)		Delta
	Actual	Simulation	
Top HGA	95.5	98.5	+3.14%
Bottom HGA	177.1	169.0	-4.57%

The average of simulation force has deviated from the actual about +3.14% and -4.57% for top and bottom HGA base plate respectively, and its deviation is quite small when compared with the standard deviation of the actual process which running about $\pm 8.7\%$ and $\pm 11.1\%$ for top and bottom HGA as illustrated in table 5.

Table 5: Statistical swage-force of the actual ball-swaging process.

Parts	Average	Standard Deviation.	Deviate
Top HGA	95.5	8.3	$\pm 8.7\%$
Bottom HGA	177.1	19.6	$\pm 11.1\%$

CONCLUSION

1. The influence of ultrasonic vibration induced to higher of the periodic peak force and corresponded to the vibration frequency.
2. The maximum moving average force of the amplitude between 0 to 1 μm has a downtrend while the higher amplitude ($>2\mu\text{m}$) has no trend and no proportional between force and vibration amplitude.
3. Base on the simulation, the reduction of maximum moving average force on the top and bottom HGA base plate was achieved up to 45.18% and 53.96% respectively.

REFERENCE

- [1] Pengyang Li, Jin He, Qiang Liu, Mingshun Yang, Quandai Wang, Qilong Yuan, Yan Li. Evaluation of forming forces in ultrasonic incremental sheet metal forming. *Aerospace Science and Technology*. 2017; 63: 132-139.
- [2] Saeid AminiEmail, Ahmad Hosseinpour, GolloHossein Pakimat. An investigation of conventional and ultrasonic-assisted incremental forming of annealed AA1050 sheet. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017; 90 : 1569-1578.
- [3] Liu Wei, Zhang Hong-ying. Effect analysis of parameters upon deformation force of sheet metal forming on incremental with vibration. *2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering*; 26-28 June 2010; Wuhan, China. 2010. p. 3574-3577.
- [4] Yanle Li, Xiaoxiao Chen, Jie Sun, Jianfeng Li, Guoqun Zhao. Effects of ultrasonic vibration on deformation mechanism of incremental point-forming process. In Julian Allwood, editors. *International Conference on the Technology of Plasticity*; 17-22 September 2017; Cambridge, United Kingdom; ELSEVIER; 2017. p.777-782.
- [5] Y. Lou, J.S. He, H. Chen, M. Long. Effects of vibration amplitude and relative grain size on the rheological behavior of copper during ultrasonic-assisted microextrusion. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2017; 89: 2421-2433
- [6] Saeed Bagherzadeh, Karen Abrinia. Effect of Ultrasonic Vibration on Compression Behavior and Microstructural Characteristics of Commercially Pure Aluminum. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2015; 24: 4364-4376.
- [7] Jung-Chung Hung, Chih-Chia Lin. Investigations on the material property changes of ultrasonic-vibration assisted aluminum alloy upsetting. *Materials & Design*. 2013; 45 : 412-420
- [8] Xin-cun ZHUANG, Jia-peng WANG, Huan ZHENG, Zhen ZHAO. Forming mechanism of ultrasonic vibration assisted compression. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2015; 25 : 2352-2360.
- [9] Zhendong Xie, Yanjin Guan, Jiqiang Zhai, Lihua Zhu, Chongkai Zhong. Study on ultrasonic vibration assisted upsetting of 6063 aluminum alloy. In Julian Allwood, editors. *International Conference on the Technology of Plasticity*. 17-22 September 2017; Cambridge, United Kingdom; ELSEVIER; 2017. p. 490-495
- [10] Haiyang Zhou, Hongzhi Cui, Qing H. Qin. Influence of ultrasonic vibration on the plasticity of metals during compression process. *Journal of Materials Processing Technology*. 2018; 251: 146-159.
- [11] C.J. Wang, Y. Liu , B. Guo, D.B. Shan, B. Zhang. Acoustic softening and stress superposition in ultrasonic vibration assisted uniaxial tension of copper foil: Experiments and modeling. *Materials & Design*. 2016; 112: 246-253
- [12] Shaosong Jiang, Yong Jia, Hongbin Zhang, Zhihao Du, Zhen Lu, Kaifeng Zhang, Yushi He, Rui zhuo Wang. Plastic Deformation Behavior of Ti Foil Under Ultrasonic Vibration in Tension. *Journal of Materials Engineering and Performance*. 2017; 26: 1769-1775
- [13] Zhehe Yao, Gap-Yong Kim, LeAnn Faidley, Qingze Zou, Deqing Mei, Zichen Chen. Effects of superimposed high-frequency vibration on deformation of aluminum in micro/meso-scale upsetting. *Journal of Materials Processing Technology*. 2012; 212: 640-646.

ประวัติผู้เขียน

นายชัช ชัยบุญ เกิดเมื่อวันที่ 1 พฤษภาคม 2524 เริ่มศึกษาชั้นประถมศึกษาที่โรงเรียนชุมชนบ้านหนองบัวระเหว ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 ที่โรงเรียนหนองบัวระเหววิทยาคาร จังหวัดชัยภูมิ ศึกษาต่อสายอาชีวศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ที่วิทยาลัยเทคนิคชัยภูมิ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ที่สถาบันเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตขอนแก่นและระดับปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมเครื่องมือที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยสำเร็จการศึกษาเมื่อปี พ.ศ. 2548

หลังสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้เข้าทำงานที่บริษัทเวสเทิร์นดิจिटอล (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรควบคุมกระบวนการผลิต (Process Engineer) ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 – 2550 และย้ายเข้ามาทำงานที่บริษัทซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) จำกัด ในตำแหน่งวิศวกรควบคุมกระบวนการผลิต ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551 – ปัจจุบัน

ปี พ.ศ. 2560 เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้รับทุนการศึกษาสำหรับผู้มีศักยภาพเข้าศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา และได้นำเสนอบทความเข้าร่วมในงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Conference on Automobile & Mechanical Engineering (ICAME) ที่กรุงโตเกียว ประเทศญี่ปุ่น ระหว่างวันที่ 7 - 8 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 เรื่อง การวิเคราะห์การใช้อัลตราโซนิกไวเบอร์ชันในกระบวนการเสวงด้วยลูกบอลสำหรับการประกอบหัวอ่านเขียนข้อมูลของฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (ANALYSIS OF USING ULTRASONIC VIBRATION ON BALL SWAGING PROCESS FOR HEAD STACK ASSEMBLY OF HARD DISK DRIVE BY FINITE ELEMENT METHOD)