

การศึกษาค่าแรงกดที่มีผลต่อการประกอบชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ เนื่องจากกระบวนการอัลตราโซนิกแท็บบอนด์

A STUDY ON FORCE AFFECTING THE HEAD STACK ASSEMBLY (HSA) IN ULTRA SONIC TAB BOND PROCESS

จิราภรณ์ โอนพิมาย (Jeeraporn Onpimai)¹เกียรติฟ้า ตั้งใจจิต (Kiatfa Tangchaichit)^{2*}

บทคัดย่อ

การประกอบชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ (Head Stack Assembly, HSA) ต้องอาศัยกระบวนการอัลตราโซนิกแท็บบอนด์ในการเชื่อมชิ้นงานระหว่าง APFA (Actuator Pivot Flex Assembly) กับแผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน (Trace) ให้ติดกันโดยการสั่นด้วยคลื่นความถี่สูง ซึ่งตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการได้แก่ แรงกดที่ใช้ในการกระบวนการอัลตราโซนิกแท็บบอนด์ ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ผลของตัวแปรดังกล่าวด้วยระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) เพื่อทำนายพฤติกรรมการเกิดความเค้นในชิ้นงานขณะประกอบด้วยการกระบวนการอัลตราโซนิกแท็บบอนด์ จากการศึกษาพบว่า แรงกดมีผลต่อการประกอบชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ โดยเมื่อแรงกดมากขึ้นค่าความเค้นจะมากขึ้นด้วย ซึ่งแรงที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่าง 50 - 80 กรัมแรง

Abstract

Ultrasonic Tab Bond (USTB) is one of the processes in Head Stack Assembly (HSA) production. It consists of a welding technique using high frequency vibration applied to the Actuator Pivot Flex Assembly (APFA) pad and the Head Gimbals Assembly (HGA) pad or trace being held together under pressure. The variables which are assumed to affect this process, the force of the welding tip, are analyzed in this research. The stress behavior during the USTB process was analyzed by using Finite Element Method (FEM). The results show that the stress varies directly with the force which was found to be suitable between 50 - 80 gf.

คำสำคัญ: ชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ กระบวนการอัลตราโซนิกแท็บบอนด์

Keywords: Head Stack Assembly, Ultrasonic Tab Bond

¹ นักศึกษาระดับปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

* Corresponding author, e-mail:kiatfa@kku.ac.th

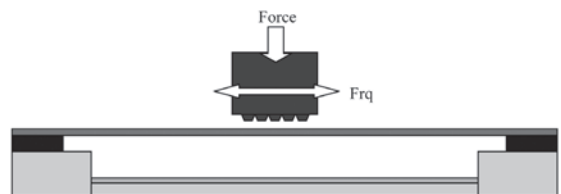
บทนำ

ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไครฟ์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลาย ฮาร์ดดิสก์จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคในอัตราสูง และถูกผลิตขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เมื่อมีความต้องการบริโภคฮาร์ดดิสก์มากขึ้น ผู้ผลิตจึงต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตที่ละขั้นตอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะส่วนที่มีขนาดเล็กมาก จะต้องการความพิถีพิถันในกระบวนการผลิตมากตามไปด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการเชื่อมวงจรไฟฟ้าภายในหัวอ่าน/เขียน เป็นหลักเนื่องจากในขั้นตอนนี้เป็นการประกอบชิ้นงาน 2 ชิ้นเข้าด้วยกันด้วยกระบวนการเชื่อมอัลตราโซนิกแท็ปบอนด์หรือการให้ชิ้นงานยึดติดกันโดยอาศัยการเชื่อมด้วยความถี่อัลตราโซนิก (Luk et al., 2002) พบว่าวิธีการเชื่อมอัลตราโซนิกแท็ปบอนด์ใช้ระยะเวลาในการเชื่อมชิ้นงานน้อยและชิ้นงานที่ได้จากการเชื่อมนั้นสะอาด อีกทั้งมีการใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน (Tianming and Chunyue, 2009) ได้มีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเชื่อมลวดทองแดงด้วยกระบวนการเชื่อมเทอร์โมโซนิก (Thermosonic Bonding) เมื่อทำการทดสอบจึงพบว่าระยะเวลาในการอัลตราโซนิก แรงกดชิ้นงาน และพลังงานอัลตราโซนิกจะส่งผลต่อ เส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวตั้งของปลายลวดเชื่อมหรือความสูงของลูกบอลเมื่อถูกเชื่อมติดกับฐานแล้ว ตามลำดับและยังพบว่า แรงกดชิ้นงาน ระยะเวลาในการอัลตราโซนิก และพลังงานอัลตราโซนิกนั้นส่งผลต่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวนอนของปลายลวดเชื่อมหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกบอลเมื่อถูกเชื่อมติดกับฐานแล้ว ตามลำดับ จากนั้น (Jun et al., [n.d.]) ได้ศึกษา ค่าพลังงานในการเชื่อม และแรงกดในการเชื่อม โดยใช้การเชื่อมด้วยลูกบอลทอง (Gold Bond Ball) พบว่าเมื่อมีแรงกดมากจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างลวดกับแผ่นอลูมิเนียมมากตามไปด้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเชื่อมติดดี และเมื่อมีแรงกดน้อยหัวกดจะมีการสั่นไถลส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเชื่อมติดจึงลดลง

การศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ในการวิเคราะห์ซึ่ง ได้กล่าวไว้ว่าวิธีการทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ สามารถทำการจำลองรูปแบบผลิตภัณฑ์ที่มีรูปทรงซับซ้อนได้อย่างแม่นยำ (ปราโมทย์, 2550) ไม่ว่าจะเป็นปัญหาทางด้านของเชิงตลอดจนการคำนวณสภาวะความแปรปรวนของอากาศ นอกจากนี้การวิเคราะห์ทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ยังสามารถลดระยะเวลาในการวิเคราะห์และค่าใช้จ่ายในการทดสอบ

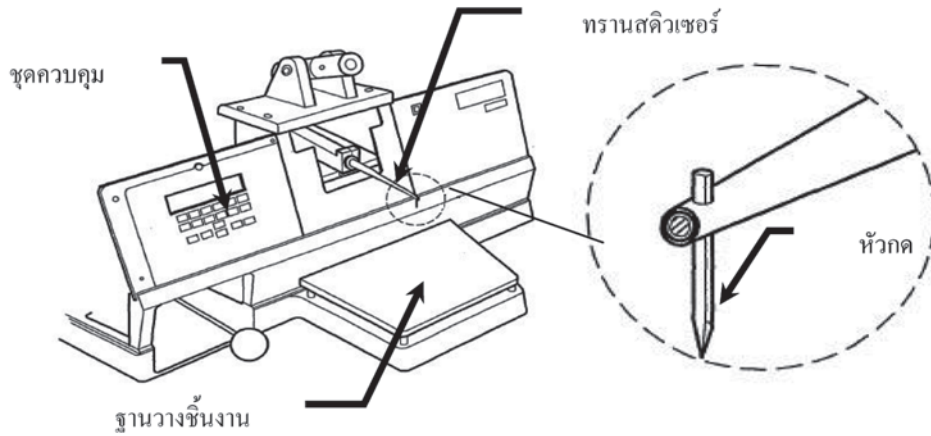
ระเบียบวิธีวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาแรงกดที่มีผลต่อการประกอบชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ เนื่องจากการะบวนการอัลตราโซนิกแท็ปบอนด์ โดยทำการวิเคราะห์ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงาน งานวิจัยนี้มีการใช้การวิเคราะห์ แบบ Explicit Dynamic Analysis



รูปที่ 1. แบบจำลองการแบ่งเอลิเมนต์

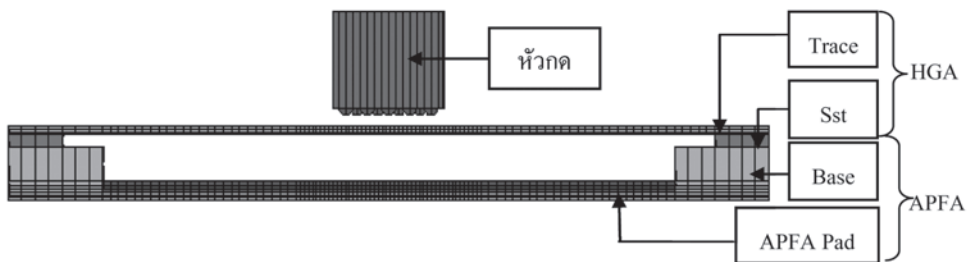
ในการทดลองจะทำการเปลี่ยนแปลงค่าแรงกดที่บริเวณหัวกด ซึ่งเป็นการกระจายแรงกดบนหัวกดให้ทุกโหนดได้รับแรงเท่ากันทุกๆ จุด สำหรับแรงกดที่ใช้ในการทดสอบมี 8 ค่าได้แก่แรงกดที่ 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 gf. ตามลำดับ โดยมีระยะเวลาที่ใช้ในการอัลตราโซนิก 400 ms. และ ที่ความถี่ของหัวกด 63.7 kHz. ดังแสดงในรูปที่ 1 เครื่องเชื่อมอัลตราโซนิกสามารถปรับค่าแรงกด และระยะเวลาในการสั่นได้โดยป้อนค่าที่ต้องการในชุดควบคุมของเครื่องเชื่อม



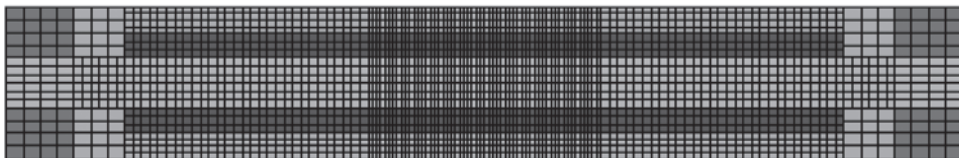
รูปที่ 2. เครื่องเชื่อมอัลตราโซนิก

รูปที่ 2 แสดงเครื่องเชื่อมอัลตราโซนิกแท็บบอนด์ และลักษณะของหัวกดที่เชื่อมต่อกับทรานสดิวเซอร์ เพื่อส่งผลให้หัวกดเกิดการสั่นในขณะเชื่อมติดกับชิ้นงาน ขั้นตอนการเชื่อมเริ่มจากวางชิ้นงานลงบนฐานวาง จากนั้นชุดควบคุมจะสั่งให้หัวกดตกลงมาชนกับชิ้นงาน Trace

ในขณะเดียวกัน Trace จะถูกกดลงไปชนกับ APFA Pad จากนั้นทรานสดิวเซอร์จะเริ่มสั่นในทิศทางขนานกับแกน x ด้วยความถี่ และเวลาที่กำหนดตั้งที่กล่าวไปแล้วข้างต้น จากนั้นหัวกดจะเลื่อนขึ้นกลับสู่ตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้งเพื่อเชื่อมชิ้นงานชิ้นต่อไป



ก. แบบจำลองการแบ่งเอลิเมนต์ด้านหน้าและแสดงส่วนประกอบ



ข. แบบจำลองการแบ่งเอลิเมนต์ด้านบนโดยนำหัวกดออก

รูปที่ 3. แบบจำลองการแบ่งเอลิเมนต์

เนื่องจากแรงกดที่ใช้ในการผลิตปัจจุบันส่งผลให้ชิ้นงานบางชิ้นเกิดการเสียหายในขั้นตอนการเชื่อมด้วยกระบวนการอัลตราโซนิก ซึ่งสอดคล้องกับผลการจำลองพฤติกรรมในโปรแกรม(Simulation) โดยใช้แรงกดดังกล่าว ผลที่ได้จากการจำลองพฤติกรรมมีความแม่นยำในช่วงเกินค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุขึ้นไป ซึ่งหมายความว่าชิ้นงานมีความเสี่ยงต่อการเสียหายและลักษณะการเสียรูปของชิ้นงานก็มีลักษณะคล้ายคลึงกัน และได้มีการทดสอบเมชเพื่อเปรียบเทียบผลอีกชิ้นหนึ่งเพื่อยืนยันผลจากการจำลองพฤติกรรม ดังนั้นจึงถือว่าผลการจำลองพฤติกรรมนั้นมีความถูกต้อง

รูปที่ 3 เป็นการแบ่งเอลิเมนต์โดยทุกชิ้นส่วนที่นำมาวิเคราะห์ จะถูกแบ่งเอลิเมนต์แบบทรงตัน (Solid Element) ซึ่งมีโหนดทั้งหมด 8 โหนด และได้กำหนดค่าดังแสดงในตารางที่ 1 โดยจะกำหนดขนาดของเมชให้มีความใกล้เคียงกับขนาดเมชของหัว

ตารางที่ 1. แบบจำลองการแบ่งเอลิเมนต์

หัวข้อ	การกำหนด
ขนาดของเมช ที่บริเวณหัวกดสัมผัสกับชิ้นงาน (มม.)	0.00625
ขนาดของเมช ที่บริเวณรอบหัวกด (มม.)	0.0125
ขนาดของเมช ที่ขอบเขตอื่นๆ (มม.)	0.025
เอลิเมนต์	Hexahedral
ชนิดของเอลิเมนต์	Solid 164
จำนวนของเมชที่ใช้โดยประมาณ	15,000

กด และทำการทดสอบเมชในขนาดต่างๆ เปรียบเทียบกัน 5 ขนาด ได้แก่ขนาด 0.001, 0.003, 0.00625, 0.0125 และ 0.025 มม. พบว่าขนาดเมชที่เหมาะสมให้ผลใกล้เคียงกันและใช้ระยะเวลาในการวิเคราะห์ผลน้อยที่สุด ได้แก่ขนาดเมช 0.00625 มม. ดังนั้นบริเวณที่หัวกดสัมผัสกับชิ้นงานจึงมีขนาดเมชเท่ากับ 0.00625 มม. ถัดออกมาบริเวณรอบหัวกดขนาดเท่ากับ 0.0125 มม. แล้วจึงทำการเมชปริมาตรที่เหลือด้วยขนาด 0.025 มม.

การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุได้กำหนดคุณสมบัติของวัสดุแบบ Bilinear kinematic hardening ซึ่งมีทั้งหมด 5 ชิ้นส่วน ได้แก่ แผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน, แผ่นทองแดงของ APFA (APFA Pad), แผ่นฐาน (Base APFA), สเตนเลสสตีล (Stainless Steel) และ หัวกด (Tip) ในส่วนของหัวกดชิ้นงานผลิตจากเซรามิก จึงกำหนดให้เป็นวัสดุแข็งเกร็ง (Rigid Body) เนื่องจากหัวกดมีความแข็งแรงมากเมื่อเทียบกับชิ้นงานอื่น ดังตารางที่ 2

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ได้มีการใช้โปรแกรมทางด้านไฟไนต์เอลิเมนต์ Ansys เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวมีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านโครงสร้างสูง พร้อมทั้งมีส่วนช่วยลดเวลาและต้นทุนในการทดสอบ

ตารางที่ 2. การกำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

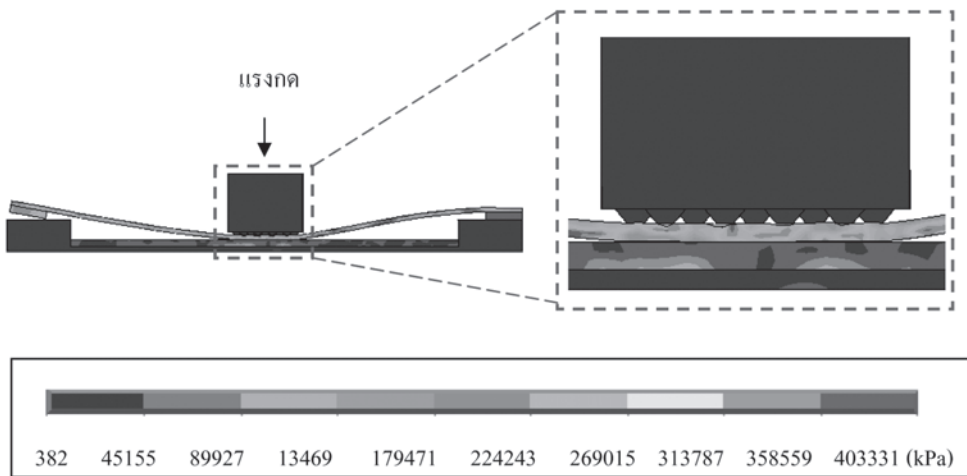
ชิ้นส่วน	วัสดุ	Density (g/cc)	Modulus of Elasticity (GPa)	Tensile Yield Strength (MPa)	Ultimate Tensile Strength (MPa)
APFA Pad, Trace	Copper	8.92	122	474	593
Base APFA	Polymide	1.45	7.9	179	224
Stainless steel	Stainless steel	7.93	160	1024	1280

ผลการทดลอง

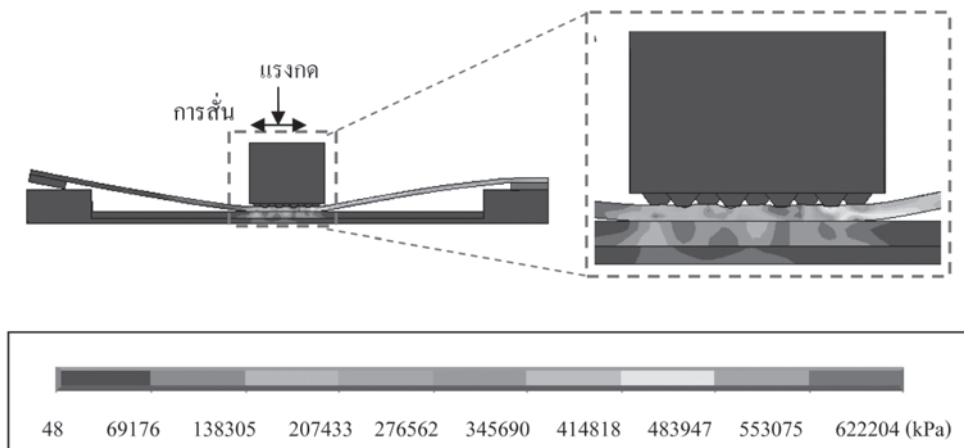
การวิเคราะห์พฤติกรรมการเกิดความเค้น ความเครียดและการเสียรูปของกระบวนการประกอบชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ ในกระบวนการอัลตราโซนิกแท็บออนด์ด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้ทฤษฎี von Mises ในการวิเคราะห์ ซึ่งในขณะที่หัวกดกดแผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน ลงไปชนกับแผ่นทองแดงของ APFA จะทำให้แผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียนได้รับการกระทบจากแรงกดในแนวตั้งฉากกับชิ้นงาน ซึ่งแรงกดจะส่งผลให้ความเค้น (von Mises stress) ที่แผ่น

ทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน มีค่าสูงแต่ค่าความเค้นที่ได้รับนั้นยังไม่ส่งผลให้ชิ้นงานเสียรูปไปอย่างถาวร (Plastic Deformation) ดังรูปที่ 4 เมื่อหัวกดลงมาสัมผัสกับแผ่นทองแดงของ APFA แล้วหัวกดจะเริ่มสั่นจะทำให้แผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน ได้รับการกระทบจากการสั่นและแรงกดไปพร้อมๆ กัน จึงทำให้ความเค้นที่ได้รับนั้นส่งผลให้ชิ้นงานเสียรูปไปอย่างถาวรได้ดังรูปที่ 5

การศึกษาค่าความเค้น (Stress) จะทำการพิจารณาความเค้นที่ตำแหน่งกึ่งกลางชิ้นงานของแผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน ซึ่งเป็นบริเวณที่หัวกดสัมผัสกับ



รูปที่ 4 ชิ้นงานรับภาระแรงกด



รูปที่ 5 ชิ้นงานรับภาระแรงกดและการสั่น

แผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน เพื่อใช้ในการวัดผลค่าความเค้น โดยทำการวัดผลตำแหน่งเดียวกันทุกการทดลอง ดังรูปที่ 6 กรอบสี่เหลี่ยมสีดำหมายถึงบริเวณที่ทำการวัดค่าความเค้น ส่วนเครื่องหมายภายในกรอบ

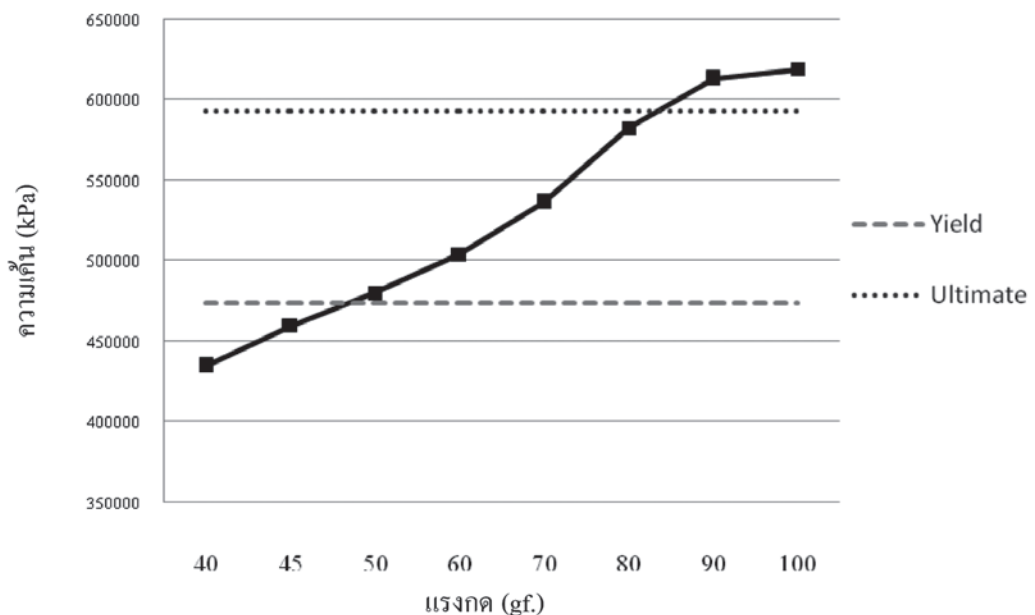
คือจุดที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดภายในชิ้นงาน โดยตำแหน่งจุดที่เกิดค่าความเค้นสูงสุดของแต่ละกรณีนั้นจะไม่อยู่ในตำแหน่งเดียวกันทั้งหมด แต่อยู่ในบริเวณที่ใกล้เคียงกัน



รูปที่ 6. ตำแหน่งการวัดค่า von Mises stress ของชิ้นงาน

เมื่อนำความเค้นที่มากที่สุดที่บริเวณดังกล่าวของแผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน ขณะรับภาระจากแรงกดและการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิกมาแสดง ดังรูปที่ 7 พบว่าเมื่อใช้แรงกดชิ้นงานที่ 40 และ 45 gf. ส่งผลให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปแบบยืดหยุ่น (Elastic Deformation) เนื่องจากแรงนั้นไม่เพียงพอที่จะทำให้ชิ้นงานยืดตัวออกเกินกว่าจุดคราก (Yield Point) ลักษณะการเปลี่ยนรูปแบบนี้ จะเป็นไปเพียงชั่วคราวเท่านั้น ดังนั้นแผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียนจึงไม่เกิดการเชื่อมติดกับแผ่นทองแดงของ APFA และเมื่อใช้แรงกดชิ้นงานในช่วง 50 - 80 gf. ค่าความเค้นที่ได้รับมีค่าอยู่ระหว่างจุด

คราก และจุดค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ (Ultimate Tensile Strength) ชิ้นงานจึงไม่เกิดความเสียหาย เพียงแต่ส่งผลให้ชิ้นงานเสียรูปร่างอย่างถาวรเท่านั้น นั่นหมายถึงแผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียนได้เกิดการเชื่อมติดกับแผ่นทองแดงของ APFA แล้ว แต่เมื่อเพิ่มแรงมากขึ้นที่ 90 และ 100 gf. ค่าความเค้นที่ได้รับมีค่าสูงขึ้นจนเกินค่าความแข็งแรงสูงสุดของวัสดุ ซึ่งเป็นจุดเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายกับชิ้นงาน เนื่องจากชิ้นงานจะเกิดการคอดลง (Necking) แล้วจะเข้าสู่สภาวะการแตกหัก (Fracture) ในที่สุด



รูปที่ 7. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงกดกับความเค้น

สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองแรงกดขึ้นงาน 8 ระดับ คือ 40, 45, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 gf. พบว่าเมื่อแรงกดมากขึ้นจะทำให้ความเค้นมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากเมื่อหัวกดได้รับแรงกดมากขึ้น จะส่งแรงไปที่แผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียนทำให้เกิดการอัดตัวระหว่างแผ่นทองแดงของชุดหัวอ่าน/เขียน กับแผ่นทองแดงของ APFA มากขึ้น และทำให้เกิดความเค้นสูงขึ้นตามไปด้วย ซึ่งแรงกดที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 50 - 80 gf. โดยจะทำให้ขึ้นงานเชื่อมติดกันพอดีและไม่ทำให้ขึ้นงานมีความเสี่ยงต่อแตกหัก

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการประกอบชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ เนื่องจากกระบวนการอัลตราโซนิกแท็บบอนด์เพิ่มเติม เช่นระยะเวลาในกระบวนการสั่นด้วยคลื่นอัลตราโซนิก และความถี่ของหัวกด เป็นต้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัทเวสเทิร์นดิจิตอลบางปะอิน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้การสนับสนุนด้านข้อมูลและอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- ปราโมทย์ เดชะอำไพ. 2550. **ไฟไนเอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม**. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- Jun Qi, Ngar Chun Hung, Ming Li, Deming Liu. [n.d.]. **Mechanism Analysis of Process Parameters Effects on Bondability in Ultrasonic Ball Bonding**. Hong Kong
- Tianming LI, Chunyue HUANG. 2009. **Study on Bonding Process Parameters Affecting Cu Bump Shape Based on Design of Experiment Method**. China.
- Luk, C.F. Chan, Y.C. Hung, K.C. 2000 . **Development of gold to gold interconnection flip chip bonding for chip on suspension assemblies. Microelectronics Reliability 42**. 381-389, Hong Kong University.