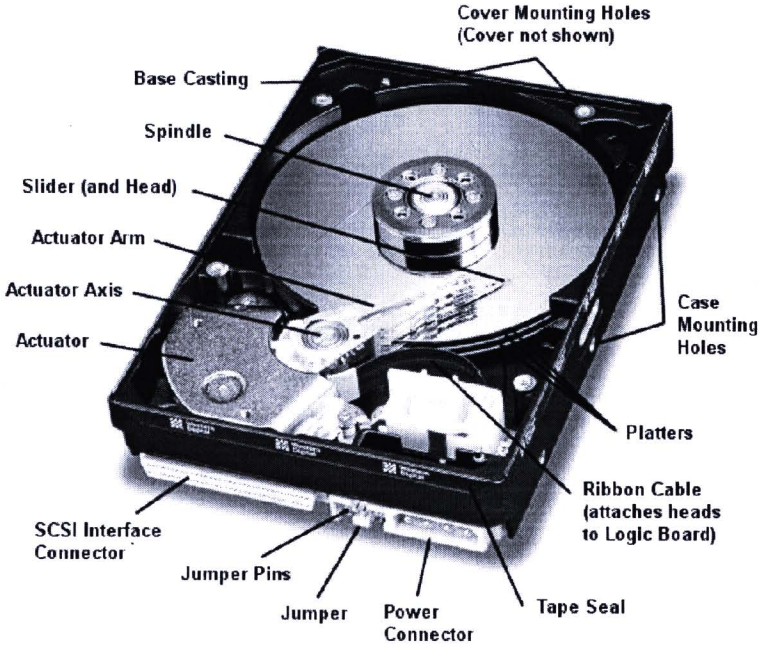
บทที่ 2
วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. บทนำ

ฮาร์ดดิสก์เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเก็บอุปกรณ์ได้มาก และเก็บได้อย่างถาวรโดยไม่จำเป็นต้องมีไฟหล่อเลี้ยงตลอดเวลาเหมือนกับหน่วยความจำแรม (RAM) เมื่อเปิดเครื่องข้อมูลจะไม่สูญหาย จากคุณสมบัติเหล่านี้เองทำให้ถูกใช้เป็นไดร์ฟหลักในการเก็บระบบปฏิบัติการ โปรแกรม และข้อมูลต่างๆ นอกจากนี้พื้นที่ของ ฮาร์ดดิสก์บางส่วนถูกนำมาจำลองเป็นแรมเสมือนหรือ Virtual Memory อีกด้วย ในกรณีที่แรมไม่เพียงพอต่อการใช้งาน



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของฮาร์ดดิสก์ [7]

1.1 แพลตเตอร์ (Platter) หรือแผ่นจานเหล็กเคลือบสารแม่เหล็กรูปวงกลม มีหลายขนาดขึ้นอยู่กับขนาดฟอร์มแฟคเตอร์ (Form Factor) ของฮาร์ดดิสก์แต่ที่เป็นมาตรฐานในปัจจุบันจะมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3.5 นิ้ว สำหรับฮาร์ดดิสก์ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) แต่อาจมีขนาด 5.25 นิ้วอยู่บ้าง แต่จำนวนน้อยลงแล้ว สำหรับขนาดที่ใช้ใน Notebook หรือ Laptop มักจะใช้ฮาร์ดดิสก์ที่มีขนาดแพลตเตอร์ 2.5 นิ้ว ในปัจจุบันได้มีการพัฒนา ฮาร์ดดิสก์

ขนาดเล็กขึ้นมาที่เรียกว่า Micro Drive มีแผ่นแพลตเตอร์ขนาดเล็กมากเพียง 1 นิ้ว ในฮาร์ดดิสก์ 1 ตัว มักจะมีแพลตเตอร์ หลายแผ่นซ้อนกันอยู่โดยมีแกนหมุนยึดติดกัน มีมอเตอร์ขับให้หมุนไปด้วยกัน จึงเป็นที่มาของชื่อที่เรียกว่า " Fixed Disk " แผ่นแพลตเตอร์สามารถใช้งานได้ทั้ง 2 หน้า แต่ละหน้ามีความจุที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับสารแม่เหล็กที่ฉาบอยู่และการออกแบบของผู้ผลิต

1.2 สปินเดิลมอเตอร์ (Spindle Motor) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่หมุนแพลตเตอร์ ด้วยความเร็วคงที่ค่าหนึ่ง เพื่อให้ผิวของ Platter เคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านที่ทำหน้าที่อ่านข้อมูลที่บันทึกอยู่บนแผ่นแพลตเตอร์ ความเร็วในการหมุนแผ่นนี้มีผลต่อความเร็วในการเข้าถึงข้อมูล (Access Time) และความเร็วในการอ่านข้อมูลด้วย โดยถ้ามีความเร็วสูงขึ้น เวลาที่ใช้ในการเข้าถึงข้อมูลก็จะน้อยลง และขณะเดียวกันแพลตเตอร์ ก็จะเคลื่อนที่ผ่านหัวอ่านได้เร็วขึ้น ทำให้อ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วที่มากขึ้นด้วย ความเร็วของ Spindle Motor ของฮาร์ดดิสก์แต่ละตัว มักจะปรากฏในคุณสมบัติของฮาร์ดดิสก์ตัวนั้น เช่น 5,400 RPM

1.3 หัวอ่าน/เขียน (Head Read/Write) ทำหน้าที่อ่านข้อมูลที่บันทึกอยู่บนแพลตเตอร์ ปัจจุบัน หัวอ่าน/เขียนได้รับการพัฒนาไปมาก จากที่เป็นแบบ Ferite Metal-in-Gap หรือ Thinfilm จนปัจจุบันนี้ ฮาร์ดดิสก์ส่วนใหญ่ที่มีความจุมาก ๆ จะใช้เทคโนโลยีหัวอ่านที่เรียกว่า Magnetoresistance (MR), Giant Magnetoresistive (GMR) และ Colossal Magnetoresistive (CMR) จำนวนหัวอ่านในฮาร์ดดิสก์ มักจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนหน้าของแพลตเตอร์ เช่น มี 3 แพลตเตอร์ จะมีหัวอ่าน 6 หัว หัวอ่าน/เขียนเป็นส่วนประกอบที่ค่อนข้างเสียง่าย อาจเกิดจากการที่ฮาร์ดดิสก์ถูกกระทบกระเทือนอย่างแรง ทำให้หัวอ่านที่ลอยอยู่บนผิวแพลตเตอร์ ด้วยระยะห่างแค่ 0.5 ไมโครนิ้ว (Micro Inches) เคลื่อนจากตำแหน่งเดิม ทำให้ไม่สามารถอ่านข้อมูลที่ถูกต้องได้

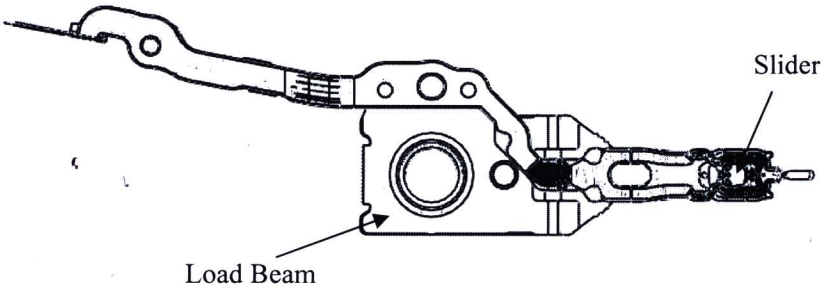
1.4 แขนและแอคทูเอเตอร์ (Arm and Actuator) เป็นส่วนประกอบที่ทำหน้าที่เคลื่อนย้ายหัวอ่านเข้าออกตามแนวตัดกับแทร็ค (Track) ของแพลตเตอร์ อุปกรณ์ชุดนี้ ประกอบด้วยแม่เหล็กแรงสูง ขดลวดทองแดง และ ก้านอลูมิเนียมที่ปลายด้านหนึ่งติดตั้งหัวอ่านอยู่ ขณะที่ทำงานตัวควบคุมการทำงาน (Controller) จะทำหน้าที่ควบคุมให้แขนเลื่อนไปตามคำสั่ง เพื่อบังคับให้หัวอ่านไปยังตำแหน่งที่ต้องการ

1.5 แผ่นวงจร (Logic Board) คือแผ่นวงจรอิเลคโทรนิคส์ ทำหน้าที่เป็นส่วนควบคุมการทำงานของ ฮาร์ดดิสก์ทั้งหมด และทำหน้าที่เป็นส่วนติดต่อกับเมนบอร์ด (Main board) ของคอมพิวเตอร์ ภายใน แผ่นวงจรมีหน่วยความจำ (Memory) อยู่จำนวนหนึ่งที่เรียกว่า หน่วยความจำบับเฟอร์ (Buffer Memory) ใช้สำหรับเป็นที่พักข้อมูลที่โอนถ่ายระหว่างฮาร์ดดิสก์ และเมนบอร์ด ส่วนของหน่วยความจำบับเฟอร์นี้ ถ้ามีจำนวนมากจะช่วยให้การโอนถ่ายข้อมูลได้เร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น

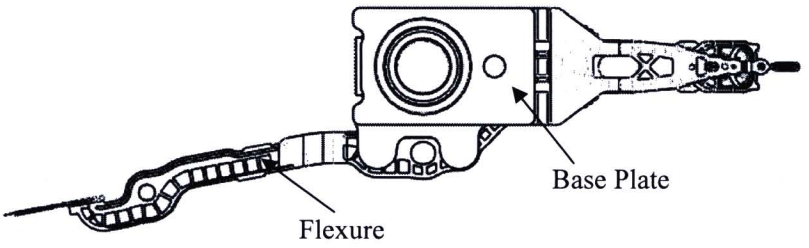
2. โครงสร้างของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ ฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟ

2.1 ชุดหัวอ่าน/เขียน (Head Gimbals Assembly, HGA)

ชุดหัวอ่าน/เขียน คือ ชิ้นส่วนที่สำคัญชิ้นหนึ่งในกระบวนการผลิตฮาร์ดิสก์ไดร์ฟ ซึ่งกระบวนการผลิตชุดหัวอ่าน/เขียน คือขั้นตอนประกอบหัวอ่าน/เขียน (Slider) กับ ซัสเพนชั่น (Suspension) เข้าด้วยกัน ด้วยกระบวนการประกอบกึ่งอัตโนมัติ (Semi – Automatic) ตลอดทั้งกระบวนการ



ภาพด้านหน้า



ภาพด้านหลัง

ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของชุดหัวอ่าน/เขียน

ส่วนประกอบที่สำคัญของชุดหัวอ่าน/เขียน มีอยู่ 2 ส่วนคือ

2.1.1 หัวอ่าน/เขียน (Slider) คือ หัวอ่านและเขียนข้อมูล เป็นชิ้นส่วนหลักของชุดหัวอ่าน/เขียน มีลักษณะสี่เหลี่ยมสีดำ ขนาดเล็กและบาง ชิ้นส่วนนี้จะประกอบไปด้วยวงจรไฟฟ้าขนาดเล็ก ซึ่งวงจรไฟฟ้าจะทำหน้าที่เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้เกิดขึ้นขณะที่ชุดหัวอ่าน/เขียนอ่านและเขียนข้อมูลลงในแผ่นดิสก์

2.1.2 ซัสเพนชั่น ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

โลหะแผ่นบน (Flexure)

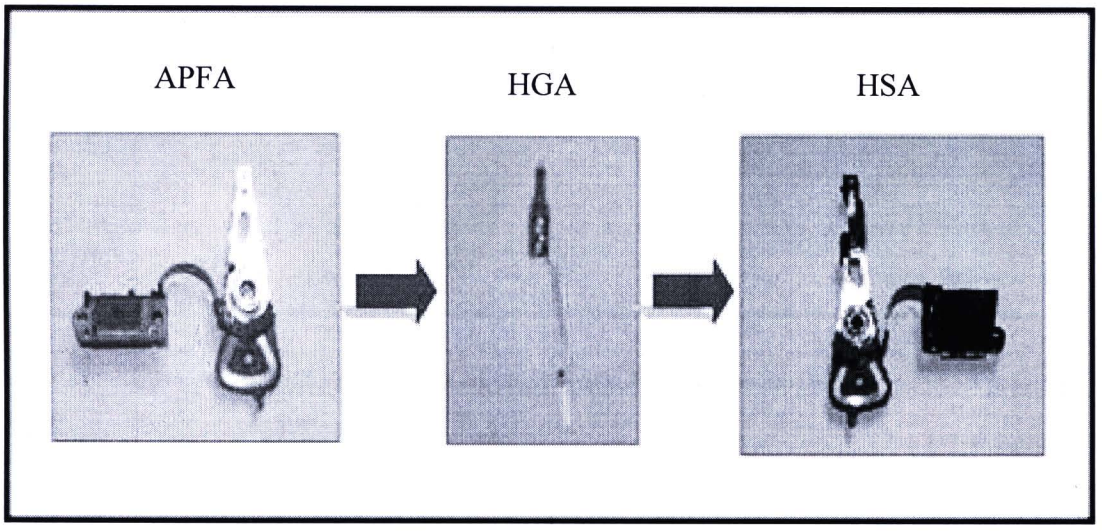
โลหะแผ่นกลาง (Load Beam)

โลหะแผ่นล่าง (Base Plate)

2.2 ชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ

ชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ คือชุดประกอบหัวอ่านและเขียนข้อมูลสำเร็จของคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นการนำเอาชุดหัวอ่าน/เขียน หลายๆ ตัว มาประกอบกัน โดยใช้ชิ้นส่วนอื่นๆ เป็นส่วนช่วยประกอบให้ชุดหัวอ่าน/เขียน เรียงซ้อนกันเป็นชั้นๆ จึงเรียกว่า Head Stack Assembly แล้วนำไปติดกับสายแผ่นวงจรบางอีกครั้งหนึ่ง โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าเข้าไปแล้วจะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไปเหนี่ยวนำ ให้เกิดช่วงสัญญาณบวกและลบ ซึ่งจะเป็นข้อมูลทางดิจิตอล เก็บลงบนแผ่นดิสก์

ชุดประกอบหัวอ่าน - เขียนสำเร็จ มีส่วนประกอบหลักๆ ที่สำคัญ 2 ส่วนคือ ชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จที่ปราศจากชุดหัวอ่าน/เขียน (Actuator Pivot Flex Assembly, APFA) และ ชุดหัวอ่าน/เขียน ดังภาพที่ 3



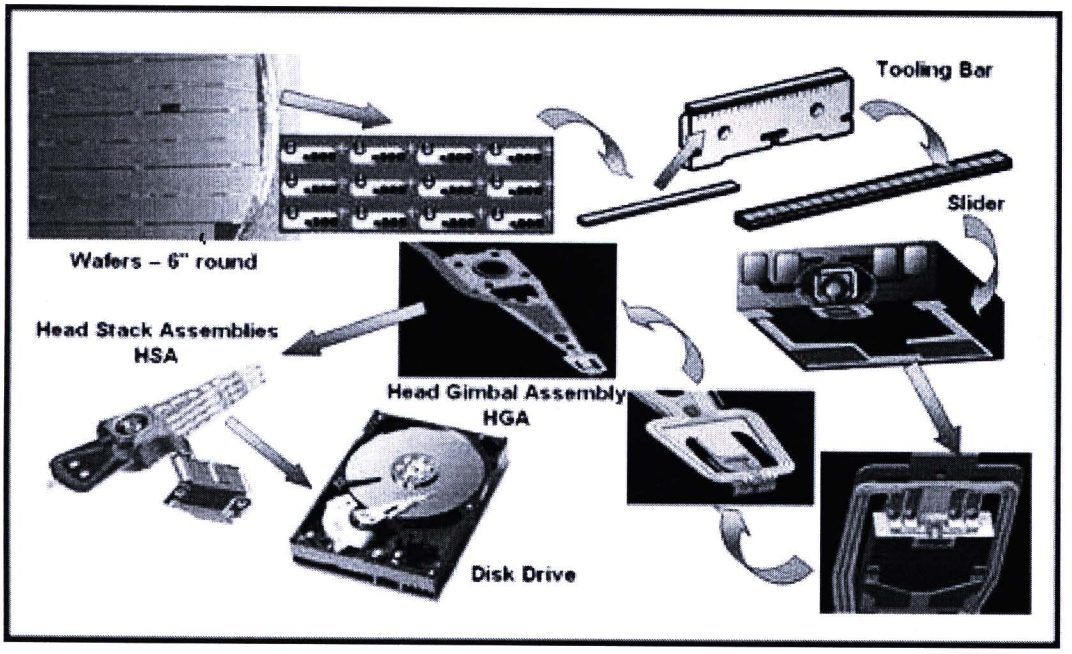
ภาพที่ 3 แสดงส่วนประกอบหลักที่สำคัญของชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ [2]

2.2.1 กระบวนการผลิตชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ ที่สำคัญแบ่งออกเป็น 3 กระบวนการ ดังนี้

2.2.1.1 การประกอบชิ้นงาน (HSA Assembly) คือ การประกอบตัวงานการโดยนำชิ้นงานแต่ละอย่างมาประกอบเข้าด้วยกัน เช่นการประกอบโดยการยิงลูกบอล(Swaging), อัลตราโซนิคแท็ปบอนด์, เคลือบผิวชิ้นงาน (Conformal Coat)

2.2.1.2 การทดสอบชิ้นงาน (HSA Test) คือการวัดค่าและประสิทธิภาพของตัวงานตามความต้องการที่ ลูกค้ากำหนด ได้แก่ วัดตำแหน่งหัวอ่าน (Head Alignment), ความสูงของแขน (Arm Height)

2.2.1.3 การตรวจสอบ (HSA Inspection) คือการตรวจสอบตัวงานอย่างละเอียด เพื่อให้ได้ชิ้นงานตามความต้องการที่ลูกค้ากำหนดไว้ โดยตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการประกอบชุดหัวอ่าน/เขียนสำเร็จ [2]

กระบวนการผลิตชุดหัวอ่าน/เขียน เริ่มจากการหยอดกาวบริเวณหัวอ่าน/เขียน (Bronx Slider) จากนั้นติดหัวอ่าน/เขียนลงบนซัสเพนชั่น แล้วนำไปอบแสงอัลตราไวโอเลต (UV) เพื่อให้กาวแห้งพอประมาณ แล้วนำเข้าตู้อบรังสีอินฟาเรดเพื่อให้กาวแห้งแล้วแข็งตัว เชื่อมต่อวงจรของตัวหัวอ่าน/เขียน เข้ากับวงจรของตัวซัสเพนชั่น โดยการใช้ Solder Jet Bond เป็นตัวเชื่อมวงจรในจุดต่าง ๆ ตามด้วยการประมวลการทำงานของระบบไฟฟ้าและการทำความสะอาด (Adminder Cleaning) ตรวจสอบความสมดุลขั้นสุดท้ายก่อนส่งไปประกอบเป็นชุดหัวอ่าน/เขียนสำเร็จต่อไป

กระบวนการผลิตชุดหัวอ่าน/เขียนสำเร็จโดยเริ่มจากนำชุดประกอบหัวอ่าน/เขียนสำเร็จที่ปราศจากชุดหัวอ่าน/เขียน แขนหัวอ่าน/เขียน แบริ่ง (Heavers Barring) และแผ่นวงจรชนิดอ่อน (Flexible Printing Circuit) มาประกอบกันด้วยเครื่องมือที่มีความแม่นยำสูง จากนั้นจะทดสอบชุดหัวอ่าน/เขียนสำเร็จโดยการตรวจสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าอย่างละเอียดด้วยการทดสอบ Quartile

Static Tester. จากนั้นทดสอบคุณภาพการอ่าน/เขียนของหัวอ่านอย่างพิถีพิถันแล้วส่งต่อไปประกอบเป็นฮาร์ดิสก์ไดร์ฟในขั้นตอนต่อไป ดังภาพที่ 4

3. ทบทวนวรรณกรรม

ปัจจุบันฮาร์ดดิสก์ไดร์ฟสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในหลากหลาย ฮาร์ดดิสก์จึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภคในอัตราสูง และถูกผลิตขึ้นเป็นจำนวนมากเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค เมื่อมีความต้องการบริโภคฮาร์ดดิสก์มากขึ้น ผู้ผลิตจึงต้องมีการพัฒนากระบวนการผลิตทีละขั้นตอนให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเฉพาะส่วนที่มีขนาดเล็กมาก จะต้องการความพิถีพิถันในกระบวนการผลิตมากตามไปด้วย ในที่นี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการเชื่อมวงจรไฟฟ้าภายในหัวอ่าน/เขียน เป็นหลัก เนื่องจากในขั้นตอนนี้เป็นการประกอบชิ้นงาน 2 ชิ้นเข้าด้วยกัน และให้ชิ้นงานยึดติดโดยอาศัยการเชื่อมด้วยความถี่อัลตราโซนิค

งานวิจัยทางด้านเทคโนโลยีการเชื่อมติดวงจรไฟฟ้า ภายในฮาร์ดิสก์ ได้เปรียบเทียบวิธีการเชื่อม 3 วิธี ดังนี้ วิธีการเชื่อมติดวงจรด้วยวิธีการอัลตราโซนิคแท็ปบอนด์ การเชื่อมร้อน (Hot Bar Soldering) และการเชื่อมแผ่นฟิล์ม (Anisotropic Conductive Adhesive Films) โดยสรุปดังตารางที่ 1 ดังนี้ วิธีการเชื่อมติดวงจรด้วยวิธีการอัลตราโซนิคแท็ปบอนด์ (Ultrasonic TAB Bonding) เป็นวิธีที่ทำให้ชิ้นงานสะอาด และใช้ระยะเวลาน้อย จึงทำให้มีการใช้กันอย่างแพร่หลาย ส่วนวิธีการเชื่อมร้อนเป็นการเชื่อมที่ระยะเวลานานและยังทำให้ชิ้นงานมีสิ่งไม่พึงประสงค์ติดค้างอยู่ วิธีนี้จึงไม่เป็นที่นิยม ส่วนวิธีการเชื่อมแผ่นฟิล์ม เป็นวิธีใหม่ซึ่งมีข้อดีหลายอย่าง แต่ข้อเสียคือใช้ระยะเวลาในการเชื่อมนานจึงยังไม่เป็นที่นิยมใช้ในปัจจุบัน [8]

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบวิธีการเชื่อมภายในฮาร์ดดิสก์ [8]

Interconnection method	Ultrasonic TAB bonding	Hot bar soldering	ACF
Cleanliness	Good	Bad	Good
Stability	Good	Good	Good
Cycle time	Short (300 ms)	Long (20 s)	Long (20 s)
Production cost	Middle	High	Low
Quality control	Difficult	Easy	Easy
Process control	Difficult	Middle	Easy
Reworkability	Rework once only	Not reworkable	Reworkable
Application in HDD	Widely used	Will be replaced	First trial

สำหรับการเชื่อมฟลิป ชิป (Flip Chip) ด้วยวิธีอัลตราโซนิค เป็นเทคโนโลยีการเชื่อมแบบไม่ใช้ความร้อนที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอีกวิธีหนึ่ง หัวเชื่อมจะมีลักษณะพิเศษคือจะมีรูขนาดเล็กเจาะผ่านทะลุตามแนวแกนหัวเชื่อม รูนี้จะมีขนาดใหญ่กว่าลวดเชื่อมเล็กน้อย เพื่อให้ลวดเชื่อมสามารถ

สอดผ่านหัวเชื่อมได้ ส่วนปลายของลวดเชื่อมจะมีลักษณะกลมคล้ายลูกบอล เนื่องจากลวดจะได้รับความร้อนจนหลอมละลาย และจับตัวรวมกันเป็นก้อนกลม เพื่อใช้ในการสัมผัสกับชิ้นงานที่ต้องการเชื่อมติด และเนื่องจากแกนของหัวเชื่อมเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดของการเชื่อมแบบฟลิป ชิป จึงได้มีการศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเชื่อมลวดทองแดงด้วยกระบวนการเชื่อมแบบฟลิป ชิป เมื่อทำการทดสอบจึงพบว่าระยะเวลาในการอัลตราโซนิค แรงกดชิ้นงาน และพลังงานอัลตราโซนิคจะส่งผลต่อ เส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวตั้งของปลายลวดเชื่อมหรือความสูงของลูกบอลเมื่อถูกเชื่อมติดกับฐานแล้ว ตามลำดับและยังพบว่า แรงกดชิ้นงาน ระยะเวลาในการอัลตราโซนิค และพลังงานอัลตราโซนิคนั้นส่งผลต่อ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวนอนของปลายลวดเชื่อมหรือเส้นผ่าศูนย์กลางของลูกบอลเมื่อถูกเชื่อมติดกับฐานแล้ว ตามลำดับ [22]

การศึกษาหัวกดสำหรับการเชื่อมด้วยอัลตราโซนิค ศึกษาเกี่ยวกับตัวต้านทานภายในหัวกดอัลตราโซนิคเพื่อให้หัวกดมีคุณสมบัติในการเชื่อมที่ดี และยืดระยะเวลาในการใช้หัวกดให้ยาวนานขึ้น ทั้งนี้ก็เพื่อลดต้นทุนในการผลิตให้น้อยลง โดยทำการศึกษาค่าตัวต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสมของหัวเชื่อม ซึ่งพบว่าค่าตัวต้านทานไฟฟ้าที่เหมาะสมของหัวเชื่อมอยู่ระหว่าง 10^{5}- 10^{12} โอห์ม [18]

การศึกษาพลังงานในการเชื่อม และแรงกดในการเชื่อม โดยใช้การเชื่อมด้วยลูกบอลทอง (Gold Bond Ball) เชื่อมลงบนแผ่นอลูมิเนียม พบว่าเมื่อมีแรงกดมากจะเกิดแรงเสียดทานระหว่างลวดกับแผ่นอลูมิเนียมมากตามไปด้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเชื่อมติดดี และเมื่อมีแรงกดน้อยหัวกดจะมีการลื่นไถลส่งผลให้ประสิทธิภาพในการเชื่อมติดจึงลดลง [14] จากนั้นได้มีศึกษาปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อกระบวนการเชื่อมลวดตัวนำในกระบวนการอัลตราโซนิค ซึ่งพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบมีเพียง 4 ปัจจัยหลักคือ แรงกดขณะเชื่อม อุณหภูมิบริเวณที่ทำการเชื่อม พลังงานอัลตราโซนิค และระยะเวลาอัลตราโซนิค [20]

จากการค้นคว้างานวิจัยข้างต้นจะพบว่าวิธีการ Wire Bond มีผู้ศึกษากันอย่างแพร่หลายแต่จะเน้นไปที่วิธีการใช้ลูกบอลทองเป็นส่วนใหญ่ ส่วนวิธีอัลตราโซนิคแท็ปบอนด์ไม่ค่อยพบงานวิจัยมากนัก แต่เนื่องจากปัจจัยในการเชื่อมด้วยวิธีการต่างๆ มีความคล้ายกัน เช่นแรงกดขณะเชื่อม อุณหภูมิบริเวณที่ทำการเชื่อม พลังงานอัลตราโซนิค และระยะเวลาอัลตราโซนิค จึงนำมาเป็นข้อมูลเบื้องต้นได้ แต่เนื่องจากเครื่องเชื่อมด้วยวิธีการอัลตราโซนิคแท็ปบอนด์ที่ทำการศึกษา เป็นการเชื่อมที่อุณหภูมิห้อง และไม่สามารถปรับค่าพลังงานอัลตราโซนิคได้ ตัวแปรด้านอุณหภูมิ และตัวแปรด้านพลังงานอัลตราโซนิคจึงไม่นำมาวิเคราะห์ ดังนั้นจึงได้มีการศึกษาแรงกดขณะเชื่อมและระยะเวลาอัลตราโซนิค ด้วยวิธีการอัลตราโซนิคแท็ปบอนด์ โดยใช้ระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

สำหรับงานวิจัยเกี่ยวกับการใช้ไฟไนต์เอลิเมนต์ในงานวิศวกรรม เนื่องจากรูปแบบผลิตภัณฑ์ทางวิศวกรรมทั่วไปมักมีรูปร่างซับซ้อน ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงเข้ามามีบทบาทเป็นอย่างมากในการนำมาประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัญหาต่างๆ ในปัจจุบันทำให้เราสามารถคำนวณหาปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นได้โดยสะดวก และในขณะเดียวกันช่วยลดค่าใช้จ่ายในการทดลองได้อีกด้วย [3]