ME-NETT 25
The 25th Conference of the Mechanical Engineering Network of Thailand

AMM 33

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25
19-21 ตุลาคม 2554 จังหวัดกระบี่

การศึกษาสมบัติเชิงกลของจุดต่อภายใต้อิทธิพลของแรงดล

Study of Mechanical Property of Joint under the influence of Impulse Forces

วราภรณ์ ฟักเหลือง* และ กีรติ สุลักษณ์

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง นครราชสีมา 30000
โทรศัพท์ 0-4422-4235 โทรสาร 0-4422-4413 *อีเมล์: kob_wara@hotmail.com

บทคัดย่อ

โดยทั่วไปสมบัติเชิงกลของวัสดุมักได้จากการทดสอบในรูปแบบการรับแรงแบบสถิต อย่างไรก็ตามในงานทางวิศวกรรมส่วนใหญ่มักเป็นการรับแรงในขณะที่เคลื่อนที่ ความเสียหายของชิ้นส่วนจึงเกิดจากการรับแรงแบบพลวัตรซึ่งมีความเร็วของแรงมาเกี่ยวข้อง ปัจจัยดังกล่าวส่งผลต่อพฤติกรรมความเสียหายที่แตกต่างออกไป งานวิจัยนี้ทดสอบหาสมบัติเชิงกลของจุดต่อภายใต้อิทธิพลของแรงดึงที่ความเร็วของการให้แรง 0.05 m/s, 0.1 m/s และ 0.15 m/s ตามลำดับ ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปวิเคราะห์และสร้างสหสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึง ระยะเคลื่อนตัว และความเร็วของแรงดึง ผลที่ได้พบว่าค่า Elastic modulus, ค่า Yield strength และค่า Tensile strength ของจุดต่อลดลงอย่างเชิงเส้นเมื่อความเร็วของแรงดึงเพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่ความเข้าใจในสมบัติเชิงกลภายใต้ผลกระทบของแรงดล

คำหลัก: แรงดล, จุดต่อ, การทดสอบ, สมบัติเชิงกล, สหสัมพันธ์

Abstract

Generally, the mechanical properties of materials are usually obtained by means of experiment based on the static loading condition. In typical engineering applications, however, the machine elements are subjected to dynamics loading. The failure of such elements is then occurs by the cause of dynamics loading which are related to the speed of the applied load. This research study the mechanical properties of the joints under the influent of tensile forces with the forcing speeds of 0.05 m/s, 0.1 m/s, and 0.15 m/s, by means of experiment. The experimental data has been analyzed to formulate the relation between the applied forces, displacement, and speed of the applied forces. It is found that an increasing of the applied force speed decreases the Elastic modulus, the Yield strength, and the Tensile strength of the joint linearly. This gives a more understand in mechanical properties under the influent of the impulse forces.

Keywords: Impulse force, Joint, Testing, Mechanical properties, Correlation.

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าตัวบ่งบอกคุณภาพของชิ้นงานจะเกี่ยวข้องโดยตรงกับสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ทำชิ้นงานนั้น โดยทั่วไปสมบัติเชิงกลของวัสดุหาได้โดยนำวัสดุไปทดสอบรับแรงในรูปแบบต่างๆ จนเสียหาย จากนั้นเก็บข้อมูลนำไปวิเคราะห์สร้างเป็นทฤษฎีขึ้นใช้

งาน อย่างไรก็ตาม ทฤษฎีความเสียหาย ที่กล่าวมาล้วนอยู่บนพื้นฐานการทดสอบของวัสดุเอกพันธ์ (homogeneous) เช่น เหล็ก ทองแดง ฯลฯ ดังนั้นจึงเหมาะใช้ทำนายความเสียหายของระบบที่ประกอบด้วยวัสดุเอกพันธ์ รูปแบบความเสียหายจึงถูกจำกัดและขึ้นอยู่กับสมบัติของวัสดุเป็นสำคัญ

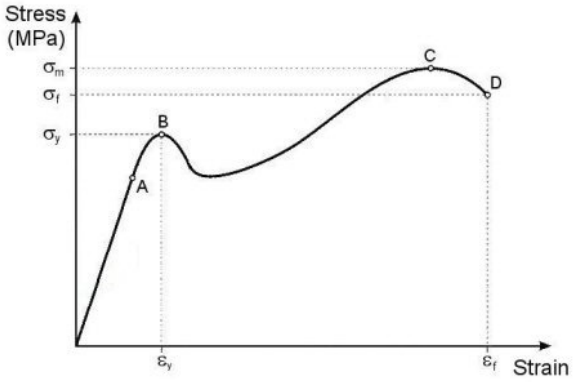
สำหรับชิ้นงานซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดและหลายส่วนมาประกอบกัน ซึ่งการประกอบกันดังกล่าวก็เกิดขึ้นในหลายรูปแบบ เช่น ติดกาว เชื่อม เป็นต้น การวิเคราะห์ขีดความคงทนและรูปแบบความเสียหายจึงไม่อาจแยกพิจารณาแต่ละชิ้นส่วนได้อย่างอิสระ ทั้งนี้เพราะความเสียหายอาจไม่ได้เกิดจากการรับแรงที่เกินขีดจำกัดความคงทนของวัสดุเท่านั้น แต่รวมถึงการที่ชิ้นส่วนที่ประกอบกันเกิดการกะเทาะแยกออกจากกัน สาเหตุเหล่านี้อาจเกิดขึ้นได้โดยที่สภาพการรับแรงของวัสดุอาจยังไม่เกินเกณฑ์การเสียหาย ด้วยเหตุนี้ การวิเคราะห์รูปแบบความเสียหายของจุดต่อในชิ้นส่วนซึ่งประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดมาประกอบกันโดยอาศัยการทดสอบแบบปฏิสัมพันธ์องค์รวม จึงน่าจะเหมาะสมกว่าการวิเคราะห์แบบแยกส่วน เพราะช่วยให้เข้าใจรูปแบบความเสียหายโดยภาพรวมได้ชัดเจนมากกว่า ความเข้าใจในส่วนนี้จึงมีค่อนข้างน้อยทั้งในแง่การจำลองและการทดสอบ

จากการสืบค้นพบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น การทดสอบแรงเฉือน/แรงดึงของจุดต่อเชื่อมของวงจร โดยใช้เครื่องทดสอบที่ให้แรงเฉือน/แรงดึงแบบมีความเร็ว ผลที่ได้แสดงความสัมพันธ์ของแรงกับความเร็วการเฉือน/การดึง ซึ่งใช้วิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ความเสียหายเทียบกับความเร็วการเฉือน/การดึงที่ให้ การทดสอบดังกล่าวยังได้นำไปหาสหสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบความเสียหายและความเร็วของการให้แรง [1-3] ตามที่ได้กล่าวมาแล้วยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบการรับแรงเฉือนด้วยความเร็วที่มุมเฉือนต่างๆ พบว่าความเสียหายของจุดต่อจะเกิดขึ้นเร็วถ้ามุมเฉือนมีขนาดเพิ่มขึ้น [4]

จากการค้นคว้างานวิจัยที่ผ่านมา ยังไม่พบว่ามีการทำการทดสอบสมบัติเชิงกลของจุดต่อ ภายใต้อิทธิพลของแรงดล ซึ่งมีความเร็วของการให้แรงมาเกี่ยวข้อง เพื่อนำไปสู่ความเข้าใจในพฤติกรรมเชิงกลของระบบภายใต้ผลกระทบของแรงดล ดังนั้นงานวิจัยนี้จะทำการทดสอบหาสมบัติเชิงกลของจุดต่อ ภายใต้อิทธิพลของแรงดลที่ความเร็วของการให้แรง 0.05 m/s, 0.1 m/s และ 0.15 m/s

2. ทฤษฎีและหลักการที่นำมาใช้

การทดสอบหาสมบัติเชิงกลของวัสดุต่างๆนั้น โดยทั่วไปมักแสดงผลวิเคราะห์ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ตัวอย่างเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด

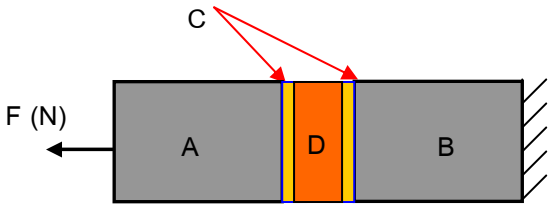
จากรูปที่ 1 เป็นผลจากการดึงชิ้นทดสอบอย่างช้าๆ ชิ้นทดสอบจะค่อยๆ ยืดออกจนถึงจุด A ในช่วงนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดจะเป็นสัดส่วนคงที่ จึงได้กราฟเป็นเส้นตรง เรียกจุด A ว่า พิกัดสัดส่วน (proportional limit) และภายใต้พิกัดสัดส่วนนี้ วัสดุจะแสดงพฤติกรรมการคืนรูปแบบยืดหยุ่น นั่นคือเมื่อปล่อยแรงกระทำชิ้นทดสอบจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม เมื่อเพิ่มแรงกระทำต่อไปจนเกินพิกัดสัดส่วน เส้นกราฟจะค่อยๆ โค้งออกจากเส้นตรง วัสดุหลายชนิดจะยังคงแสดงพฤติกรรมการคืนรูปได้อีกเล็กน้อยจนถึงจุด B ซึ่งเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก เรียกว่าจุดคราก (yield point) และค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (yield stress) หรือ yield strength ค่า yield strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป ในกรณี

ของโลหะจะเป็นค่าความแข็งแรงสูงสุดที่คงใช้ประโยชน์ได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

หลังจากจุดครากแล้ววัสดุจะเปลี่ยนรูปถาวรโดยความเค้นจะเพิ่มอย่างช้าๆ หรืออาจจะคงที่จนถึงจุดสูงสุด (จุด C) ค่าความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ultimate strength หรือความเค้นแรงดึง (tensile strength) เป็นค่าความเค้นสูงสุดที่วัสดุทนได้ก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกัน (fracture) จุดสุดท้าย (จุด D) ของกราฟเป็นจุดที่วัสดุเกิดการแตกหรือขาดออกจากกัน [5]

3. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาสมบัติเชิงกลของจุดต่อ ภายใต้อิทธิพลของแรงซึ่งมีความเร็วเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยอาศัยการทดสอบและวิเคราะห์ผล ลักษณะของระบบและการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 การทดสอบการเสียหายของจุดต่อ

จากรูปจุด D เป็นจุดต่อที่ใช้เชื่อมชิ้นส่วน A ให้ติดกับ B โดยการเชื่อมจะใช้เครื่องเชื่อมที่เป็นระบบอัตโนมัติโดยมี C เป็นแผ่นโลหะประสานระหว่างจุดต่อกับชิ้นส่วน A และ B โดยที่จุดต่อ D เป็นวัสดุผสมที่ทำจากดีบุก 96.5% เงิน 3% และทองแดง 0.5% (Sn96.5Ag3Cu0.5) แผ่นประสาน C ทำจากทองแดงเคลือบทองคำ ชิ้นงานถูกนำไปทดสอบด้วยเครื่องทดสอบการดึงแบบอัตโนมัติ มีกลไกการดึงที่ติดตั้งกับโหลดเซลล์เพื่ออ่านค่าแรงดึง F ที่ให้กับปลายชิ้นส่วน A ส่วนปลายชิ้นส่วน B ถูกตรึงเอาไว้ด้วยตัวจับยึด การทดสอบได้ปรับเปลี่ยนความเร็วของแรงดึงเป็น 3 ค่า ได้แก่ 0.05 m/s, 0.1 m/s และ 0.15 m/s ตามลำดับ ในระหว่างการทดสอบชิ้นงานจะถูกดึงออกด้วยความเร็วที่กำหนด แรงกับระยะเคลื่อนตัวเทียบกับแนวอ้างอิงจะถูกบันทึกค่าโดยอัตโนมัติด้วยเครื่องจนกระทั่งจุดต่อฉีกขาดเสียหาย การทดสอบได้ทำซ้ำทั้งหมด 6 ครั้งในแต่ละกรณีด้วยชิ้นทดสอบแบบเดียวกัน ข้อมูลที่ได้ถูกนำไปเฉลี่ยเพื่อวิเคราะห์และสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงที่วัดได้ ระยะเคลื่อนตัว และความเร็วของแรงดึงที่ให้ โดยค่าแรงที่วัดได้ถูกนำไปหารด้วยพื้นที่หน้าตัดของจุดต่อเพื่อให้ได้ค่าความเค้น ส่วนระยะเคลื่อนตัวที่วัดได้ถูกนำไปหารด้วยความยาวฐานของจุดต่อเพื่อให้ได้ค่าความเครียด ผลที่ได้นำไปสู่ความเข้าใจในสมบัติเชิงกลภายใต้ผลกระทบของแรงดล

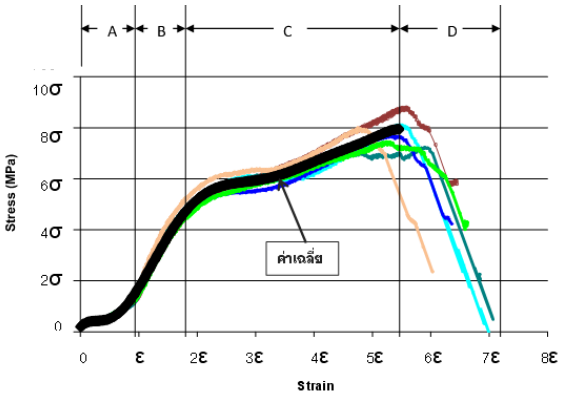
4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล

ผลการทดสอบทั้ง 6 ครั้งในแต่ละกรณีถูกนำไปแสดงในรูปแบบเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดที่ความเร็วของการให้แรง 0.05 m/s, 0.1 m/s และ 0.15 m/s จากนั้นนำมาเฉลี่ยเพื่อใช้ในการนำไปวิเคราะห์ผล และเนื่องจากเหตุผลด้านความลับของข้อมูลดังนั้นการแสดงผลกราฟ จึงแสดงผลบนสเกลที่เป็นจำนวนเท่าของตัวประกอบสเกล (scaling factor) คือ ε และ σ โดย ε เป็นตัวประกอบสเกลของความเครียด(แกน x) และ σ เป็นตัวประกอบสเกลของความเค้น(แกน y) ดังแสดงในรูปที่ 3, 4 และ 5 ตามลำดับ

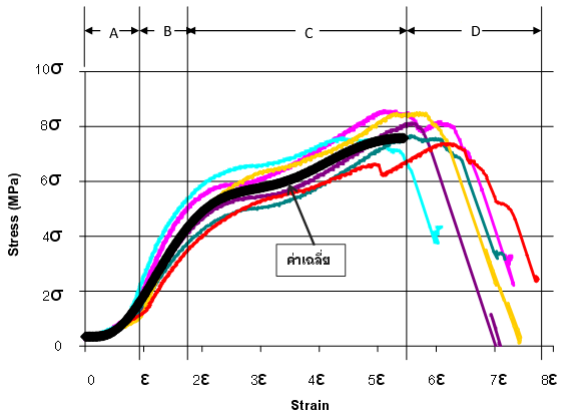
จากรูปที่ 3 สามารถแบ่งเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดออกได้เป็น 4 ช่วง คือ A, B, C และ D โดยเทียบเคียงกับเส้นโค้งความเค้น-ความเครียดของวัสดุเอกพันธ์ (รูปที่ 1) การวิเคราะห์ในที่นี้จะอาศัยความเข้าใจเดียวกันในการอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นกับระบบที่ศึกษา ดังนั้นช่วง B จึงเทียบได้กับช่วงพฤติกรรมอิลาสติก ซึ่งจุดต่อที่เสียรูปสามารถคืนสภาพเดิมได้เมื่อเอาแรงออก ส่วนช่วง C เทียบได้กับช่วงพฤติกรรมพลาสติก ซึ่งจุดต่อที่เสียรูปไม่สามารถคืนสภาพได้เมื่อเอาแรงออก จากผลวิเคราะห์ดังกล่าวจึงหาค่าสมบัติเชิงกลของจุดต่อได้ดังนี้ ค่า Modulus of elasticity (E) ของจุดต่อหาได้จากความชันของกราฟในช่วงอิลาสติก(ช่วง B) ซึ่งได้ค่าเท่ากับ $3.72\sigma/\varepsilon$ GPa โดยค่านี้บอกถึงความสามารถคงรูป (stiffness, rigidity) ของจุดต่อ กล่าวคือหากมีค่าสูงจุดต่อจะเปลี่ยนรูปอย่างอิลาสติกได้น้อยแต่หากมีค่าต่ำจุดต่อจะเปลี่ยนรูปอย่างอิลาสติกได้มาก ค่า Yield

strength (Y) ของจุดต่อนี้เท่ากับ 5.33σ MPa ซึ่งค่านี้บอกถึงจุดที่จะเกิดการเปลี่ยนจากแบบอิลาสติกไปเป็นแบบพลาสติก และค่า Tensile strength (T) เท่ากับ 7.94σ MPa ซึ่งเป็นค่าความเค้นสูงสุดที่จุดต่อทนได้ก่อนที่จะขาด ส่วนช่วง D นั้นเป็นช่วงที่จุดต่อเกิดการแตกหรือขาดออกนั่นเอง

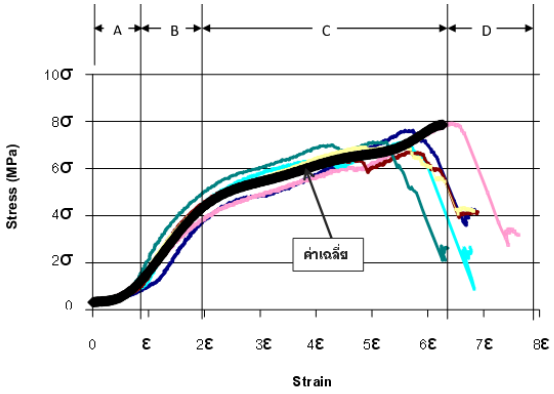
จากรูปที่ 4 จะเห็นว่าลักษณะกราฟคล้ายรูปที่ 3 กล่าวคือ มีช่วง B และ C เป็นช่วงอิลาสติกและช่วงพลาสติกของจุดต่อตามลำดับ เพียงแต่ระยะช่วงและขนาดแตกต่างกันด้วยหลักการวิเคราะห์เดียวกันจึงหาค่าสมบัติเชิงกลของจุดต่อได้ดังนี้ ค่า Modulus of elasticity เท่ากับ 3.23σ/ε GPa ค่า Yield strength เท่ากับ 5.00σ MPa และค่า Tensile strength เท่ากับ 7.57σ MPa ส่วน D เป็นช่วงที่จุดต่อเกิดการแตกหรือขาดออกเช่นเดียวกับกรณีแรก



รูปที่ 3 ผลทดสอบที่ความเร็วการให้แรง 0.05 m/s



รูปที่ 4 ผลทดสอบที่ความเร็วการให้แรง 0.1 m/s



รูปที่ 5 ผลทดสอบที่ความเร็วการให้แรง 0.15 m/s

รูปที่ 5 เป็นผลการทดสอบในกรณีให้แรงภายใต้ความเร็ว 0.15 m/s จะเห็นได้ว่าลักษณะของกราฟคล้ายกับสองกรณีข้างต้นที่กล่าวมาดังในรูปที่ 3 และ 4 กรณีนี้จึงสามารถหาค่าสมบัติเชิงกลของจุดต่อได้ดังนี้ ค่า Modulus of elasticity เท่ากับ 2.82σ/ε GPa ค่า Yield strength เท่ากับ 4.67σ MPa และค่า Tensile strength เท่ากับ 7.84σ MPa สรุปค่าสมบัติเชิงกลของจุดต่อของผลการทดสอบทั้ง 3 กรณี ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สมบัติเชิงกลของจุดต่อกรณีทดสอบที่ความเร็วของการให้แรง v ค่าต่างๆ

	กรณี 1 v=0.05 (m/s)	กรณี 2 v=0.1 (m/s)	กรณี 3 v=0.15 (m/s)
E (GPa)	3.72σ/ε	3.23σ/ε	2.82σ/ε
Y (MPa)	5.33σ	5.00σ	4.67σ
T (MPa)	7.94σ	7.57σ	7.84σ

ค่าสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบถูกนำไปแสดงกราฟเทียบกับความเร็วของการให้แรงดังรูปที่ 6 จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าสมบัติเชิงกลของจุดต่อมีความสัมพันธ์กับความเร็วของการให้แรงตามสมการ

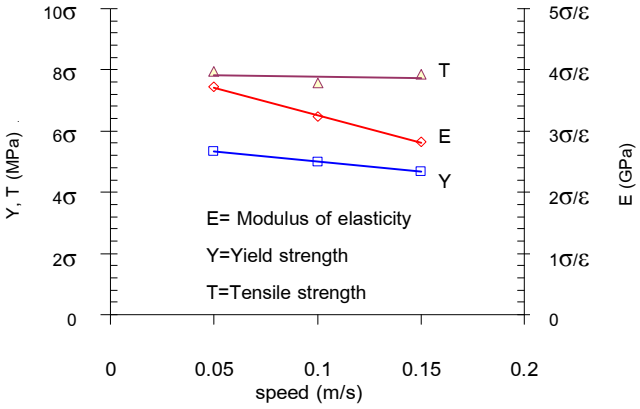
$E = -(9.00\sigma/\varepsilon)v + (4.157\sigma/\varepsilon)$

$Y = -(6.66\sigma)v + (5.666\sigma)$

$T = -(0.93\sigma)v + (7.877\sigma)$

จากกราฟและสมการสรุปได้ว่าเมื่อความเร็วของแรงดึงเพิ่มขึ้น ทั้งค่า Modulus of elasticity ค่า Yield

strength และ Tensile strength มีแนวโน้มลดลงแบบเชิงเส้น ซึ่งแสดงว่าจุดต่อเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างอิลาสติกได้มากขึ้น แต่จุด Yield strength ของจุดต่อมีค่าลดลงซึ่งแสดงว่าจุดต่อมีพฤติกรรมที่เป็นแบบพลาสติกเร็วขึ้น นิกจากนี้ค่า Tensile strength ที่มีแนวโน้มลดลงแสดงว่าความสามารถในการรับแรงได้สูงสุดของจุดต่อก่อนที่จะขาดหรือแตกออกจากกันลดลงไปด้วยนั่นเอง



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณสมบัติเชิงกลและค่าความเร็วของการให้แรง

5. สรุปผล

งานวิจัยนี้ทดสอบหาสมบัติเชิงกลของจุดต่อที่มีองค์ประกอบแบบองค์รวม ภายใต้อิทธิพลของแรงดลที่ความเร็วของการให้แรง 0.05 m/s, 0.1 m/s และ 0.15 m/s แสดงให้เห็นว่าความเร็วของการให้แรงที่แตกต่างกันส่งผลต่อขนาดของแรงที่กระทำต่อจุดต่อ และระยะเคลื่อนตัวที่แตกต่างกัน ทำให้คุณสมบัติเชิงกลของจุดต่อเปลี่ยนแปลงไปด้วย การทดสอบพบความสัมพันธ์ระหว่างสมบัติเชิงกลกับความเร็วของการให้แรงดังนี้ เมื่อความเร็วของการให้แรงเพิ่มขึ้น จะทำให้ค่า Modulus of Elasticity, ค่า Yield Strength และค่า Tensile strength มีแนวโน้มลดลงนั่นเอง

6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากศูนย์วิจัยร่วมเฉพาะทางด้านส่วนประกอบฮาร์ดดิสก์ไดรฟ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และขอขอบพระคุณบริษัทซีเกต เทคโนโลยี (ประเทศไทย) สำหรับคำแนะนำ รวมถึงวัสดุและเครื่องมืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

7. เอกสารอ้างอิง

7.1 บทความจากวารสาร (Journal)

[1] Keith Newman (2005). BGA Brittle Fracture-Alternative Solder Joint Integrity Test Method, *Electronic Component and Technology Conference*, vol. 2, June 2005, pp. 1194-1201.

[2] Fubin Song, S.W.Ricky Lee, Keith Newman, Bob Sykes, Stephen Clark (2007). High-Speed Solder Ball Shear and Pull Tests vs. Board Level Mechanical Drop Test: Correlation of Failure Mode and Loading Speed, *Electronic Component and Technology Conference*, June 2007, pp. 1504-1513.

[3] Fubin Song, S.W.Ricky Lee, Keith Newman, Bob Sykes, Stephen Clark (2007). Brittle Failure Mechanism of SnAgCu and SnPb Solder Balls during High Speed Ball Shear and Cold Ball Pull Tests, *Electronic Component and Technology Conference*, June 2007, pp. 364-372.

[4] Chai TC, Yu DQ, John Lau, Zhu WH, Zhang XR (2008), Angled High Strain Rate Shear Testing for SnAgCu Solder Balls, *Electronic Component and Technology Conference*, June 2008, pp. 623-628.

7.2 หนังสือ

[5] มงคล จิรวัชรเดช (2548). กลศาสตร์วัสดุ, กรุงเทพมหานคร : McGraw-Hill.

7.3 เว็บไซต์

[6] Biomechanic dentisty -mechanical property -stress and strain, URL:http://www.feppd.org/ICB-Dent/campus/biomechanics_in_dentistry/ldv_data/basic.htm, access on 22/06/2011.