

การออกแบบเครื่องทดสอบการคืบแกนเดียว Design of a Uniaxial Creep Testing Machine

สัจจน เทียมทินกฤต¹, รัฐสิทธิ์ จันทวิเศษ¹, ทวีช วงศ์กระบอกถาวร¹ และจิรพงศ์ กสิวิทย์อำนวย²

¹ นิสิตปริญญาโท

² ห้องปฏิบัติการวิจัยกลศาสตร์การแตกหัก ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถ. พญาไท เขต ปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330 โทร. 02-2186604 โทรสาร 02-2522889 E-mail Jirapong.K@eng.chula.ac.th

Sajjapon Tiemtinkrit¹, Rattasit Chanviset¹, Tawit wongkrabaktaworn¹, Jirapong Kasivitamnuay²

¹ Graduate students

² Fracture Mechanics Research Laboratory, Mechanical Engineering Department, Chulalongkorn University

Phayathai Rd., Patumwan, Bangkok, 10330, Tel. 02-2186604, Fax. 02-2522889, E-mail Jirapong.K@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบการคืบแกนเดียว และ เภจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบ สำหรับเครื่องทดสอบการคืบ ส่วน ประกอบหลักที่ออกแบบคือ โครงเครื่อง เตา ชุดดึงชิ้นงานทดสอบ และ ชุดควบคุมอุณหภูมิ ข้อมูลจำเพาะของเครื่องทดสอบที่กำหนด คือ สามารถทดสอบที่ภาระสูงสุด 800 กิโลกรัม และที่อุณหภูมิสูงสุด 650 องศาเซลเซียสได้ การตรวจสอบด้านภาระพบว่า เครื่องทดสอบใช้งาน ได้ในช่วงภาระทดสอบตั้งแต่ 300 ถึง 800 กิโลกรัม โดยมีความแม่นยำ ของภาระไม่เกิน ± 1 เปอร์เซ็นต์ และมีเปอร์เซ็นต์การดัดบนชิ้นงาน ทดสอบต่ำกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ การตรวจสอบด้านอุณหภูมิพบว่า บริเวณภายในเตาที่อุณหภูมิสม่ำเสมอในช่วง ± 1 องศาเซลเซียส มี ความยาว 25 มม การควบคุมอุณหภูมิในบริเวณดังกล่าวมีความแม่นยำ ± 1 องศาเซลเซียส สำหรับเภจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบ ในที่นี้ออก แบบให้เภจจับยึดและเคลื่อนที่ตามการยืดของชิ้นงานทดสอบ ระยะยืด จะถูกถ่ายโอนด้วยการเคลื่อนที่สัมผัสของท่อและก้านทรงกระบอกไป ยัง ทรานสดิวเซอร์ ระยะแอ่นตัวของทรานสดิวเซอร์มีความสัมพันธ์กับ ความเครียดบนทรานสดิวเซอร์ โดยความสัมพันธ์หาได้จากการสอบ เทียบ การตรวจสอบการทำงานของเครื่องทดสอบการคืบและเภจวัด การยืด ทำโดยการทดสอบการคืบของทองเหลืองที่อุณหภูมิ 350 องศา เซลเซียส ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเครื่องทดสอบและอุปกรณ์ สามารถทำงานได้ดี

คำหลัก เครื่องทดสอบการคืบแกนเดียว เภจวัดการยืด

Abstract

This research designed and built a uniaxial creep testing machine and displacement gage. Major designed components in the creep testing machine are frame, furnace, loading train, and temperature controller. The machine has loading capacity of 800

kg., and maximum testing temperature of 650 °C. Loading verification revealed that the machine can operate at load range from 300 to 800 kg. with loading accuracy less than $\pm 1\%$ and percent of bending less than 10%. Temperature verification shown that furnace has a uniform temperature zone within ± 1 °C of 25 mm. The controller can control the temperature in that zone with an accuracy of ± 1 °C. For a displacement gage, the gage was designed to attach and move with the tested specimen. This displacement is transferred to a transducer via rod and tube mechanisms. The deflection of a transducer relates to strain on a transducer where the relationship can be determined from calibration result. Application of a machine and displacement gage to a creep test of brass at temperature of 350 °C showed that the machine and gage work well.

Keywords Uniaxial creep testing machine, displacement gage

1. บทนำ

การศึกษาพฤติกรรมการคืบของวัสดุมีความสำคัญสำหรับการ ออกแบบชิ้นส่วนที่ทำงาน ณ อุณหภูมิสูง พฤติกรรมการคืบก็เหมือนกับ สมบัติวัสดุอื่น ๆ ที่ต้องหาโดยวิธีทดสอบ การทดสอบการคืบจำแนกได้ หลายชนิดโดยใช้เกณฑ์ชนิดของภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ ได้แก่ ภาระดึงแนวแกนเดียว [1] ภาระผสมระหว่างดึงและบิด [2] เป็นต้น ความหลากหลายของภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบเกิดขึ้นจากความ พยายามที่จะจำลองสภาวะของภาระที่เกิดขึ้นในโครงสร้างจริงมายังชิ้นงาน ทดสอบให้ใกล้เคียงที่สุด อย่างไรก็ตาม การทดสอบการคืบภายใต้ภาระดึง แนวแกนเดียว หรือในที่นี้เรียกว่า การทดสอบการคืบแกนเดียวนั้นยัง คงมีความสำคัญจนถึงปัจจุบัน

เป็นที่ทราบกันดีว่า การทดสอบหาสมบัติการคืบของวัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบชิ้นส่วนนั้นส่วนใหญ่ใช้เวลานาน แม้ว่าจะทำการทดสอบแบบเร่ง (accelerated test) แล้วก็ตาม จึงมีความจำเป็นต้องใช้เครื่องทดสอบจำนวนมากเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เพียงพอในเวลาที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามการซื้อเครื่องทดสอบ และเครื่องมือวัดของต่างประเทศเป็นจำนวนมากนั้นเป็นการลงทุนที่เสียค่าใช้จ่ายสูง ผู้วิจัยมีความเห็นว่าเครื่องทดสอบการคืบแบบเดียวมีกลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อนเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องทดสอบสากล (universal testing machine) ดังนั้นการพัฒนาเครื่องทดสอบการคืบขึ้นเองจึงเป็นสิ่งที่สามารถทำได้

งานวิจัยนี้ออกแบบและสร้าง เครื่องทดสอบการคืบแบบเดียวและเกจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบ เนื้อหาจะเริ่มจากรายละเอียดและผลการออกแบบ จากนั้นจะนำเสนอผลการประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบและเครื่องมือที่ออกแบบ

2. การออกแบบเครื่องทดสอบการคืบ

2.1 ภาพรวม

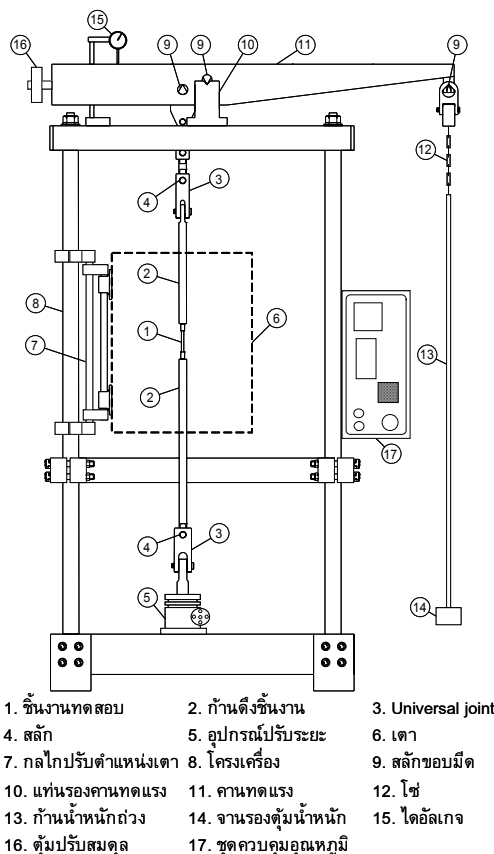
เครื่องทดสอบที่ออกแบบมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 จากรูปโครงเครื่องเป็นกรอบสี่เหลี่ยมประกอบขึ้นจาก เสาหน้าตัดกลม 4 ต้น และคาน 3 อัน คานอันแรกคือ ฐานสำหรับติดตั้งอุปกรณ์ปรับระยะ (หมายเลข 5) คานอันที่สองอยู่ด้านบนสุดสำหรับติดตั้งคานทดแรง (หมายเลข 11) และคานอันสุดท้ายอยู่ตรงกลางสำหรับเสริมความแข็งแรงของโครงเครื่องทดสอบ ชิ้นงานทดสอบ (หมายเลข 1) จะยึดกับก้านดึงชิ้นงาน (หมายเลข 2) ด้วยเกลียว ปลายอีกข้างของก้านดึงจะต่อกับข้อต่อ universal (หมายเลข 3) และต่อกับคานทดแรง หรืออุปกรณ์ปรับระยะ ตามลำดับ ข้อต่อ universal ทำหน้าที่กำจัดโมเมนต์ดัดที่จะเกิดขึ้นงานเมื่อชุดดึงชิ้นงานเอียงจากแนวตั้งเนื่องจากการยืดของชิ้นงานทดสอบ เตา (หมายเลข 6) ยึดกับเสาแต่สามารถปรับขึ้นลงและปรับตำแหน่งแนวระดับได้ด้วยกลไกปรับตำแหน่งเตา (หมายเลข 7) ชุดดึงชิ้นงานและชุดน้ำหนักถ่วง (หมายเลข 12 ถึง 14) ขวนกับคานทดแรงบนสลักขอบมีด (knife edge pin) เพื่อลดแรงเสียดทานของการหมุน คานทดแรงวางบนแท่นรองด้วยสลักขอบมีดเพื่อลดแรงเสียดทานได้อัลเกจ (หมายเลข 15) ทำหน้าที่วัดระดับของคานทดแรง ตุ่มปรับสมดุล (หมายเลข 16) ทำหน้าที่ปรับภาระที่ชิ้นงานทดสอบให้เท่ากับศูนย์เมื่อไม่มีตุ้มน้ำหนักวาง

การออกแบบแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ 1) การออกแบบเตา 2) การออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิ และ 3) การออกแบบชิ้นส่วนกลของเครื่องทดสอบ รายละเอียดของการออกแบบจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.2 ขั้นตอนและผลการออกแบบเตา

ขั้นตอนการออกแบบ มีดังนี้

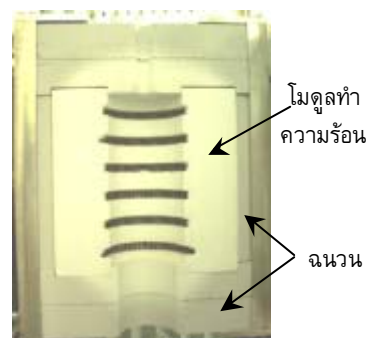
- 1) กำหนดรูปร่างเตาที่เหมาะสมกับรูปร่างของชิ้นงานทดสอบ (ในที่นี้ใช้ชิ้นงานทดสอบทรงกระบอก)
- 2) เลือกชนิดและกำหนดความหนาของฉนวนความร้อน
- 3) คำนวณปริมาณความร้อนสูญเสียที่อุณหภูมิใช้งานออกแบบ (ในที่นี้กำหนดไว้ 650 องศาเซลเซียส)
- 4) เลือกโมดูลทำความร้อนสำเร็จรูปที่มีรูปร่างตามต้องการ และมีกำลังไฟฟ้าและเนื้อที่ว่างภายในเตาเพียงพอกับการใช้งาน



รูปที่ 1 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบการคืบ

- 5) ออกแบบตัวเรือนเตา โดยพิจารณาถึง วิธีประกอบฉนวนและโมดูลทำความร้อน วิธีจับยึดกับโครงเครื่องทดสอบ วิธีปรับตำแหน่ง และวิธีเปิด-ปิดเตา

โมดูลทำความร้อนที่เลือกเป็นรูปครึ่งทรงกระบอก 2 ซีกประกบกัน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 100 มม กำลังไฟฟ้าของโมดูลเท่ากับ 1,300 วัตต์ การหุ้มฉนวนทำทั้งด้านข้างและด้านบนล่าง โดยมีความหนาประมาณ 100 มม รูปที่ 2 แสดงการประกอบโมดูลทำความร้อนและฉนวนเข้ากับตัวเรือนเตา รูปที่ 3 แสดงลักษณะภายนอกของตัวเรือนเตาซึ่งทำจากเหล็กกล้าไร้สนิม 304 ด้านขวามือคือ กลไกปรับตำแหน่งแนวระดับของเตาซึ่งมีลักษณะคล้ายบานพับ การล็อกตำแหน่งใช้วิธีขันสลักเกลียวที่ปลายเพลลาของบานพับ



รูปที่ 2 ลักษณะภายในของเตา



รูปที่ 3 ลักษณะภายนอกของเตา และกลไกปรับตำแหน่งเตา

2.3 ขั้นตอนและผลการออกแบบชุดควบคุมอุณหภูมิ

ขั้นตอนการออกแบบ มีดังนี้

- 1) เลือกเครื่องควบคุมอุณหภูมิ (temperature controller) ที่เหมาะสมกับชนิดเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ใช้ และมีความแม่นยำเพียงพอ
 - 2) เลือกขนาดของโซลิดสเตทรีเลย์ที่รับกระแสในขดลวดเตาได้
- ชุดควบคุมอุณหภูมิที่ออกแบบมีหลักการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4 จากรูปเครื่องควบคุมอุณหภูมิจะรับสัญญาณจากเทอร์โมคัปเปิ้ลที่ติดตั้งอยู่บนผิวชิ้นงานแล้วส่งจังหวะการตัดต่อวงจรเตาให้กับโซลิดสเตทรีเลย์

2.4 ขั้นตอนการออกแบบชิ้นส่วนกล

ขั้นตอนการออกแบบ มีดังนี้

- 1) กำหนดมิติของโครงเครื่อง ซึ่งขึ้นอยู่กับตำแหน่งติดตั้งชิ้นงานทดสอบ มิติเตา และการเผื่อที่ใช้สอยสำหรับเปิดเตาเพื่อติดตั้งชิ้นงาน
- 2) ออกแบบรูปร่างของชิ้นส่วน และวิธียึดชิ้นส่วน
- 3) เลือกวัสดุทำชิ้นส่วน สำหรับชิ้นส่วนที่ใช้งานที่อุณหภูมิสูงวัสดุที่ใช้คือ เหล็กกล้าไร้สนิม 310S แต่ชิ้นส่วนที่ใช้งานที่อุณหภูมิห้องหรือต้องชุบแข็งเพื่อให้ทนการสึกหรอวัสดุที่ใช้คือ เหล็กกล้าความแข็งแรงสูง AISI 4340

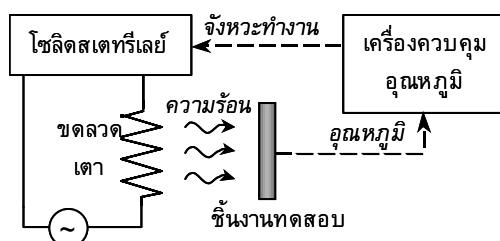
4) คำนวณขนาดชิ้นส่วน ตามเกณฑ์การออกแบบที่เหมาะสม

5) ตรวจสอบการประกอบชิ้นส่วน และเขียนแบบ

การเลือกเกณฑ์การออกแบบที่เหมาะสมในขั้นตอนที่ 4 พิจารณาจากหน้าที่และอุณหภูมิใช้งานของชิ้นส่วน โดยแบ่งออกได้ 3 เกณฑ์ คือ

- 1) ความเค้นสูงสุดในชิ้นงานน้อยกว่าความเค้นที่ยอมรับได้ที่อุณหภูมิใช้งานสูงสุด (650 °C) เกณฑ์นี้ใช้สำหรับออกแบบก้านดึงชิ้นงานทดสอบ ความเค้นที่ยอมรับได้ที่อุณหภูมิใช้งานสูงสุด คือ ค่าต่ำสุดของความแข็งแรงของวัสดุในกรณีต่อไปนี้ [3]

- 25% ของค่าต่ำสุดของความต้านแรงดึงสูงสุด (ultimate strength) ณ อุณหภูมิห้อง



รูปที่ 4 หลักการทำงานของชุดควบคุมอุณหภูมิ

- 25% ของความต้านแรงดึงสูงสุด ณ อุณหภูมิใช้งาน
- 67% ของค่าต่ำสุดของความต้านแรงดึงคราก (yield strength) ณ อุณหภูมิห้อง
- 67% ของความต้านแรงดึงคราก ณ อุณหภูมิใช้งาน
- ค่าต่ำสุดระหว่าง 100% ของความเค้นที่ทำให้เกิดความเครียดคืบ (creep strain) เท่ากับ 0.01% ใน 10^3 ชั่วโมง และเท่ากับ 1% ใน 10^5 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิใช้งาน
- ค่าต่ำสุดระหว่าง 67% ของค่าเฉลี่ยความเค้น และ 80% ของความเค้นต่ำสุด ที่อายุการคืบ 10^5 ชั่วโมง ณ อุณหภูมิใช้งาน

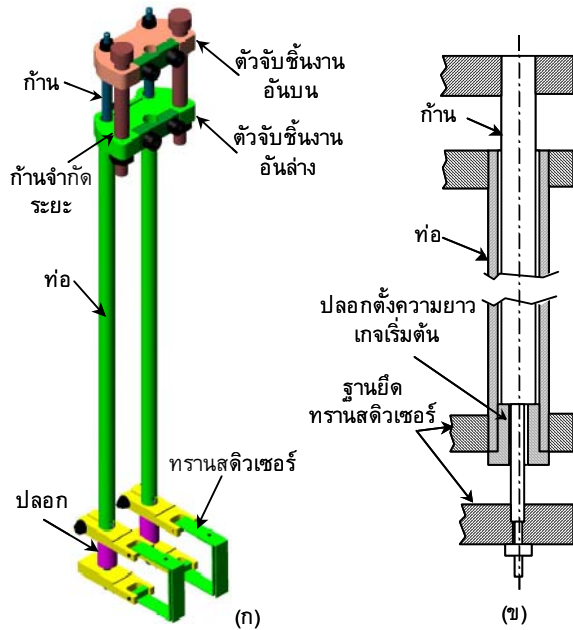
2) ความเค้นสูงสุดน้อยกว่าความเค้นครากที่อุณหภูมิห้อง เกณฑ์นี้ใช้ออกแบบชิ้นส่วนที่อยู่ ณ อุณหภูมิห้อง เช่น ข้อต่อ universal เป็นต้น

3) ความแข็งเกร็งดัด (bending rigidity) อยู่ในช่วงที่ยอมรับ เกณฑ์นี้ใช้ออกแบบชิ้นส่วนที่รับภาระดัด เช่น สลัก โครงเครื่อง คานทอดแรง เป็นต้น ความแข็งเกร็งดัดที่ยอมรับเขียนในรูปอัตราส่วนระหว่างระยะแอนตัวสูงสุดต่อระยะระหว่างจุดรองรับ (span) ค่าที่ยอมรับสำหรับชิ้นส่วนที่ต้องการความเที่ยงตรงปานกลางคือ $1 \times 10^{-5} \sim 5 \times 10^{-4}$ [4]

3. การออกแบบเกอว์ดการยึดของชิ้นงานทดสอบ

เนื่องจากชิ้นงานทดสอบติดตั้งอยู่ภายในเตา จึงต้องใช้วิธีวัดที่สัมผัสชิ้นงาน (contact method) สำหรับวิธีนี้เกอว์ดจะยึดและเคลื่อนที่ไปพร้อมการยึดของชิ้นงานทดสอบ ระยะเคลื่อนตัวของเกอว์ดจะถูกถ่ายโอนไปที่ทรานสดิวเซอร์ซึ่งอยู่ภายนอกเตา ในกรณีของเตาที่ออกแบบ กลไกถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัวของเกอว์ดจะออกมาจากด้านล่างของเตาซึ่งมีช่องเปิดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 80 มม ลักษณะของเกอว์ดการยึดของชิ้นงานทดสอบที่ออกแบบแสดงอยู่ในรูปที่ 5(ก) จากรูปชิ้นงานทดสอบจะถูกประกบด้วยตัวจับชิ้นงานอันบน-ล่างและตัววัดโดยมีสลักเกลียวบีบให้แน่น การถ่ายโอนระยะเคลื่อนตัวของตัวจับชิ้นงานอันบนและล่างใช้หลักการเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างท่อและก้าน โดยออกแบบให้ก้านสอดอยู่ภายในท่อเพื่อลดขนาดตัวจับชิ้นงานอันบนและอันล่าง จากรูปที่ 5 (ข) ปลายด้านบนของท่อยึดกับตัวจับชิ้นงานอันล่าง ส่วนปลายด้านล่างยึดกับฐานยึดทรานสดิวเซอร์อันบนโดยการรัดของสลักเกลียว ขณะที่ปลายด้านบนของก้านยึดกับตัวจับชิ้นงานอันบน ปลายด้านล่างยึดกับฐานยึดทรานสดิวเซอร์อันล่างโดยการขันน็อตตัวเมีย ทรานสดิวเซอร์สำหรับวัดระยะเคลื่อนที่สัมผัสระหว่างท่อและก้านคือ คานรูปตัวยูที่ติดสตรีนเกอ

ชิ้นส่วนที่มีบทบาทรองลงมาคือ ก้านจำกัดระยะ และปลอกตั้งความยาวเกอว์ดเริ่มต้น (รูปที่ 5) ก้านจำกัดระยะออกแบบเป็นเพลากลมสอดผ่านตัวจับชิ้นงานอันบนและล่างก่อนจะล็อกปลายล่างกับตัวจับชิ้นงานอันล่างด้วยการขันน็อตตัวเมีย ปลายบนทำาเพื่อรั้งไม่ให้ตัวจับชิ้นงานอันบนและอันล่างเคลื่อนที่เกินพิสัยการวัดของคานรูปตัวยู ตำแหน่งศูนย์กลางของก้านจำกัดระยะและชิ้นงานทดสอบจะอยู่บนแนวเส้นตรงเดียวกันเมื่อมองจากด้านบน ทั้งนี้เพื่อป้องกันโมเมนต์ดัดกระทำกับเกอว์ดหลังจากที่ชิ้นงานทดสอบขาดแต่ยังไม่ได้ปลดภาระออกก้านจำกัดระยะต้องมีขนาดหน้าตัดเพียงพอจะรับภาระทดสอบสูงสุดได้(ในที่นี้กำหนดไว้ 800 กก.) เกณฑ์ที่ใช้คำนวณคือ ความเค้นสูงสุดใน



รูปที่ 5 ส่วนประกอบของเกจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบ

ชิ้นงานน้อยกว่าความเค้นที่ยอมรับได้ที่อุณหภูมิใช้งานสูงสุด (หัวข้อที่ 2.4) ปลายด้านล่างของท่อจะมีป्लอกตั้งความยาวเกจเริ่มต้นสวมอยู่ (รูปที่ 5(ข)) และถูกรัดแน่นด้วยฐานยึดทรานสดิวเซอร์ด้านบน ก้านภายในจะเคลื่อนตัวที่สอดอยู่ภายในท่อจะทำปฏิกิริยาสำหรับยึดกับปลายของป्लอก ความยาวเกจเริ่มต้นที่ต้องการสามารถกำหนดได้จากระยะสวมของป्लอก

วัสดุที่ใช้ทำชิ้นส่วนของเกจวัดการยืดคือ เหล็กกล้าไร้สนิม 310S ยกเว้นป्लอกตั้งความยาวเกจเริ่มต้นที่ทำด้วยทองเหลือง และทรานสดิวเซอร์ที่ทำจากอะลูมิเนียมผสม 7075-T651

การออกแบบทรานสดิวเซอร์ ใช้วิธีออกแบบขั้นเหมาะสมที่สุด (optimum design) โดยกำหนดให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ความไวเชิงกลของทรานสดิวเซอร์มีค่าสูงสุด ฟังก์ชันบังคับ ประกอบด้วย 1) พิสัยใช้งานของทรานสดิวเซอร์มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับพิสัยใช้งานที่ต้องการ (ในที่นี้กำหนดไว้ 10 มม) 2) มิติของคาน (ความหนา ความกว้าง และความยาว) อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม ซึ่งกำหนดโดยใช้ดุลพินิจ หรือเพียงพอที่จะติดสเตรนเกจ และ 3) ความเค้นสูงสุดบนทรานสดิวเซอร์ต้องไม่เกินความเค้นที่ยอมรับได้ (ความต้านแรงดึงครากหารด้วยตัวประกอบความปลอดภัย) เป็นต้น วงจรสเตรนเกจบน ทรานสดิวเซอร์เป็นแบบบริดจ์เต็มมีแอกทิฟเกจ 4 ตัววัดความเครียดที่สมมาตรกัน เพื่อให้ความไวในการวัดระยะเคลื่อนตัวมีค่าสูงสุด และชดเชยการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้เอง

4. การประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบการคืบ

การประเมินคุณภาพเครื่องทดสอบการคืบแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเกี่ยวกับภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ และส่วนที่สองเกี่ยวกับอุณหภูมิภายในเตา รายละเอียดจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

4.1 ภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ

การวัดภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบทำได้โดยการติดตั้งโหลดเซลล์แทนที่ชิ้นงานทดสอบ โหลดเซลล์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีรูปร่างเป็นทรง

กระบอกหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 8x8 มม² ทำจากอะลูมิเนียมผสม 7075-T651 มีสเตรนเกจติดอยู่ที่แต่ละด้านเพื่อวัดความเครียดแนวแกน (รูปที่ 6) การทดสอบจะทำการขึ้นน้ำหนักถ่วง 10, 20, ..., 80 กก. ที่แต่ละค่าของน้ำหนักถ่วงจะทดสอบซ้ำ ๆ อย่างน้อย 15 ครั้ง โดยแต่ละครั้งหลังจากเสร็จการทดสอบจะปลดทั้งตุ้มน้ำหนักและโหลดเซลล์ออกจากเครื่องทดสอบเพื่อให้การทดสอบมีลักษณะสุ่ม ข้อมูลที่บันทึกในการทดสอบนี้คือ ความเครียดที่อ่านจากสเตรนเกจหมายเลข 1 ถึง 4 ซึ่งจะนำไปคำนวณหา เปอร์เซนต์การคืบบนชิ้นงานทดสอบ และภาระที่กระทำกับโหลดเซลล์ (หรือชิ้นงานทดสอบ) ตามลำดับ

เปอร์เซนต์การคืบ PB บนชิ้นงานทดสอบ หาได้จาก [5]

$$PB = \frac{\beta}{\epsilon_{avg}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{และ } \epsilon_{avg} = \frac{\epsilon_1 + \epsilon_2 + \epsilon_3 + \epsilon_4}{4} \quad (2)$$

$$\beta = \frac{(\epsilon_1 - \epsilon_{avg}) - (\epsilon_3 - \epsilon_{avg}) + (\epsilon_2 - \epsilon_{avg}) - (\epsilon_4 - \epsilon_{avg})}{2} \quad (3)$$

โดย $\epsilon_1, \epsilon_2, \epsilon_3, \epsilon_4$ คือ ความเครียดที่ตำแหน่ง 1 ถึง 4 บนโหลดเซลล์

เมื่อพล็อตค่า PB กับภาระที่โหลดเซลล์ซึ่งคำนวณจากน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก (หน่วยเป็น นิวตัน) คูณกับอัตราทดของคานทดแรง (ในที่นี้กำหนดไว้ 10 เท่า) จะได้กราฟความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 7

ขนาดภาระที่โหลดเซลล์ P หน่วยเป็น นิวตัน สามารถหาได้จาก

$$P = (4.229 \pm 0.008) \epsilon_{avg} \quad \text{ที่ความเชื่อมั่น 95\%} \quad (4)$$

โดย ϵ_{avg} คือ ความเครียดเฉลี่ย (สมการที่ (2)) มีหน่วยเป็น $\mu\epsilon$

ความสัมพันธ์ระหว่าง P กับน้ำหนักของตุ้มน้ำหนัก W (หน่วยเป็น นิวตัน) จากการวิเคราะห์กำลังสองน้อยที่สุด คือ

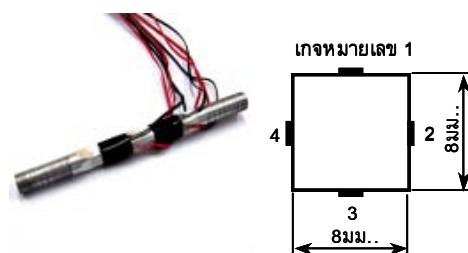
$$P = (9.87 \pm 0.09)W + (-23.11 \pm 22.23) \quad \text{นิวตัน} \quad (5)$$

ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์

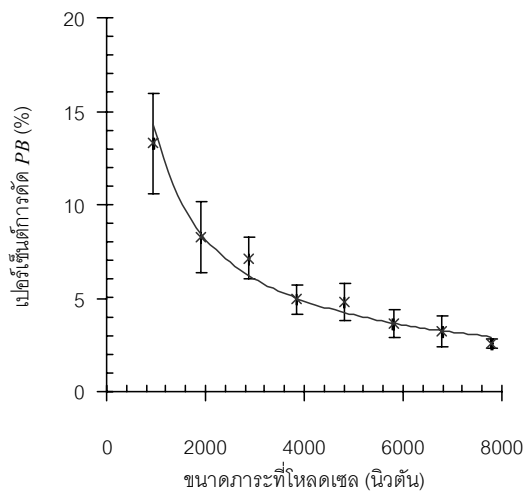
จากสมการที่ (5) ความแม่นยำของภาระที่กระทำกับชิ้นงานทดสอบ มีค่าประมาณ ± 3 เปอร์เซนต์เมื่อใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 10 กก และลดไปอยู่ที่ประมาณ ± 1 เปอร์เซนต์เมื่อใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 30 กก ขึ้นไป เนื่องจากมาตรฐาน [6] กำหนดว่าเครื่องทดสอบต้องมีค่า PB น้อยกว่า 10 เปอร์เซนต์ และมีความแม่นยำของภาระไม่เกิน ± 1 เปอร์เซนต์ ดังนั้นจึงควรใช้งานเครื่องที่ภาระทดสอบ 300 กก ขึ้นไป

4.2 อุณหภูมิภายในเตา

สิ่งที่ต้องการทราบคือ การกระจายอุณหภูมิตามแนวตั้งเพื่อใช้ปรับตำแหน่งเตาให้บริเวณที่อุณหภูมิสม่ำเสมอครอบคลุมความยาวเกจ



รูปที่ 6 โหลดเซลล์และลักษณะของหน้าตัด



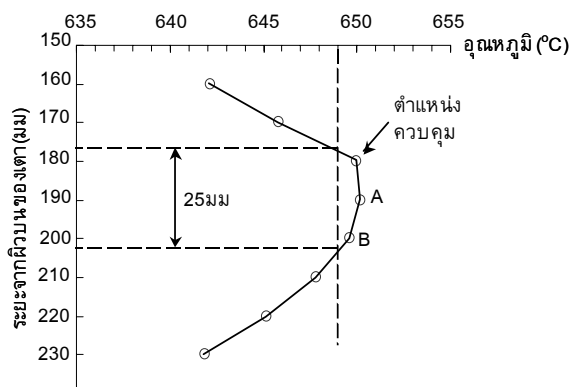
รูปที่ 7 เปอร์เซนต์การตัดที่ขนาดภาระที่โหลดเซลล์ต่าง ๆ

ของชิ้นงานทดสอบ และความเที่ยงในการควบคุมอุณหภูมิ สำหรับการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งวัดจากผิวบนของเตาแสดงอยู่ในรูปที่ 8 จากรูปบริเวณที่มีอุณหภูมิต่างกันไม่เกิน $\pm 1^{\circ}\text{C}$ มีความยาวประมาณ 25 มม. รูปที่ 9 แสดงการผันแปรของอุณหภูมิใน 24 ชั่วโมง หากพิจารณาจุด A และ B ในรูปที่ 8 ซึ่งอยู่ในบริเวณที่อุณหภูมิแตกต่างกันไม่เกิน $\pm 1^{\circ}\text{C}$ จากรูปจะเห็นว่าชุดควบคุมอุณหภูมิสามารถควบคุมอุณหภูมิได้แม่นยำในช่วง $\pm 1^{\circ}\text{C}$

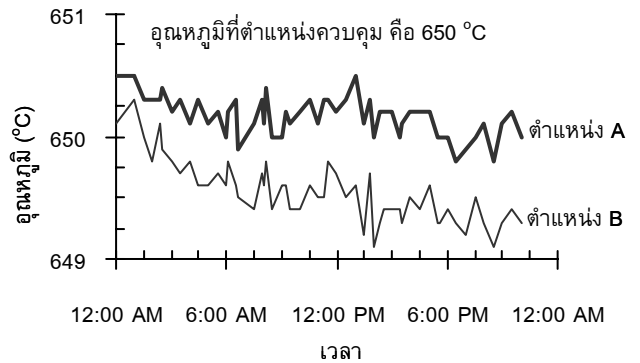
5. การประเมินคุณภาพเกจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบ

5.1 ความแม่นยำในการวัดการยืดของชิ้นงาน

การวัดความแม่นยำของเกจทำได้โดยการติดตั้งตัวจับชิ้นงานอันบนและอันล่างเข้ากับเครื่องมือสอบเทียบ ดังแสดงในรูปที่ 10 ในการสอบเทียบจะปรับตัวจับชิ้นงานอันล่างให้เคลื่อนที่ลงด้วยสกรูจับของเครื่องมือสอบเทียบ ระยะเคลื่อนที่คือค่าเฉลี่ยของค่าที่อ่านจากไดอัลเกจซ้ายและขวา ระยะเคลื่อนที่นี้เทียบเท่ากับระยะยืดของชิ้นงานทดสอบ $\delta_{specimen}$ ที่ปลายด้านล่าง ทรานสดิวเซอร์แต่ละตัวจะเกิดความเครียดซึ่งนำไปคำนวณหาระยะแอ่นตัวได้โดยใช้ผลการสอบเทียบทรานสดิวเซอร์



รูปที่ 8 การกระจายอุณหภูมิตามแนวความสูงของเตา



รูปที่ 9 การผันแปรของอุณหภูมิภายในเครื่องทดสอบ



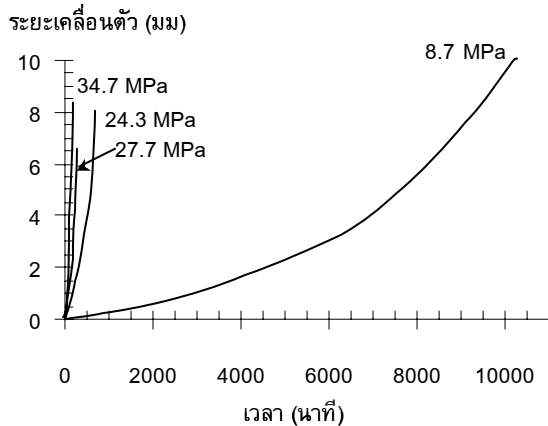
รูปที่ 10 การติดตั้งเกจวัดการยืดกับเครื่องมือสอบเทียบ

ความละเอียด (resolution) ของเกจวัดการยืดในเทอมของความเครียดของชิ้นงานทดสอบขึ้นอยู่กับความไวของคลิปเกจ และความละเอียดของเครื่องวัดความเครียด จากการคำนวณจะให้ความละเอียดของเกจวัดการยืดคือ 18 ไมโครสเตรน (สำหรับชิ้นงานที่มีความยาวเกจ 55 มม) นอกจากนี้ความไม่แน่นอนสำหรับความเครียดบนชิ้นงานทดสอบที่วัดโดยเกจที่ออกแบบ คือ 0.0008 มม/มม ที่เต็มสเกล ซึ่งจัดอยู่ในระดับชั้นคุณภาพ F ตามเกณฑ์ของมาตรฐาน BS3846 [7] (ชั้นสูงสุดคือ ชั้น A)

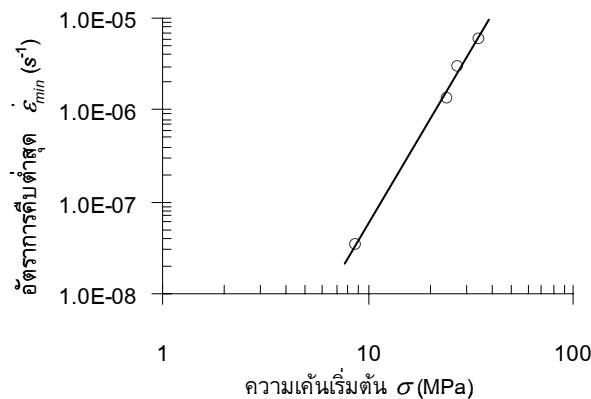
5.2 การทดสอบการคืบ

วัสดุที่นำมาทดสอบคือ ทองเหลือง อุณหภูมิทดสอบกำหนดไว้ที่ 350°C ชิ้นงานทดสอบเป็นทรงกระบอกกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม และมีความยาวเกจ (ที่อุณหภูมิห้อง) 50 มม เนื่องจากชิ้นงานทดสอบมีความยาวเกจมากกว่าบริเวณที่ถือว่าอุณหภูมิคงที่ ดังนั้นการเดียนที่อุณหภูมิบนความยาวเกจจึงมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในมาตรฐานการทดสอบ [6] อย่างไรก็ตาม การทดสอบในที่นี้ทำเพื่อตรวจสอบการทำงานของเกจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบ จึงไม่ได้ปรับลดความยาวเกจของชิ้นงานทดสอบ การทดสอบเป็นแบบควบคุมภาระ ความเค้นเริ่มต้นในการทดสอบชิ้นงาน 4 ชั้น คือ 8.7, 24.3, 27.7, 34.7 MPa การทดสอบสิ้นสุดเมื่อชิ้นงานทดสอบขาด ผลการทดสอบการคืบแสดง

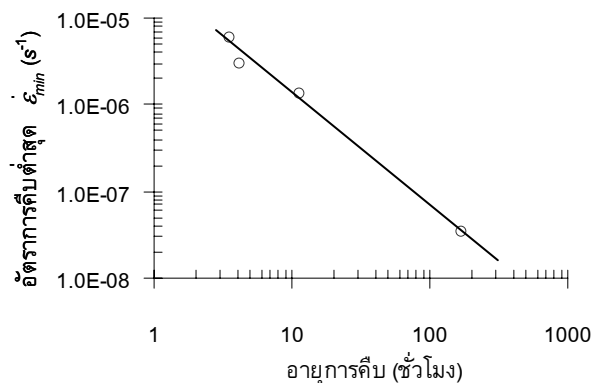
อยู่ในรูปความสัมพันธ์ระหว่างระยะยืดของชิ้นงานทดสอบกับเวลา (รูปที่ 11) จากรูปจะเห็นว่าอายุการคืบลดลงเมื่อความเค้นเพิ่มขึ้น เมื่อนำผลการทดสอบไปคำนวณความเครียดคืบและอัตราการคืบที่เวลาต่าง ๆ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบต่ำสุดกับความเค้นบนสเกลล็อก-ล็อกเป็นแบบเชิงเส้น (รูปที่ 12) ซึ่งสอดคล้องกับกฎของ Norton [3] นอกจากนี้เมื่อพล็อตระหว่างอัตราการคืบต่ำสุดกับอายุการคืบ จะได้ความสัมพันธ์เชิงเส้นบนสเกลล็อก-ล็อกเช่นกัน (รูปที่ 13) ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ Monkman-Grant [3]



รูปที่ 11 ผลการทดสอบการคืบของทองเหลืองที่ 350°C



รูปที่ 12 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบต่ำสุดกับความเค้นเริ่มต้น



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบต่ำสุดกับอายุการคืบ

6. สรุป

บทความได้อธิบายขั้นตอนและรายละเอียดของการออกแบบเครื่องทดสอบการคืบแกนเดียว และเกจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบในภาพรวม เครื่องทดสอบและเกจวัดการยืดสามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบ ผลการประเมินคุณภาพแสดงให้เห็นว่า เครื่องทดสอบใช้งานได้ในช่วงภาระทดสอบ 300 ถึง 800 กิโลกรัม โดยที่ชิ้นงานทดสอบต้องมีความยาวเกจขณะที่ยึดไม่เกิน 25 มม. สำหรับเกจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบนั้นแม้ความแม่นยำจะจัดอยู่ในชั้นคุณภาพ F แต่ก็สามารถใช้ในการทดสอบการคืบได้ติดตั้งผลการทดสอบการคืบที่น่าเชื่อถือ สำหรับการพัฒนาระบบการคืบของทองเหลือง ณ อุณหภูมิ 350°C การศึกษาพบว่า อายุการคืบลดลงเมื่อความเค้นเพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการคืบต่ำสุดกับความเค้นสามารถเขียนในรูปของสมการของ Norton ได้ และความสัมพันธ์ได้ในรูปฟังก์ชันกำลัง ในทำนองเดียวกัน อัตราการคืบแปรผกผันกับอายุการคืบซึ่งก็เขียนความสัมพันธ์ได้ในรูปฟังก์ชันกำลัง

7. งานวิจัยต่อเนื่อง

งานวิจัยต่อเนื่องที่ห้องปฏิบัติการวิจัย กำลังดำเนินการอยู่คือ การพัฒนาเตาที่มีชุดลดแรงดันอิสระ 3 ชุดเรียงตามแนวความสูง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มความยาวของบริเวณที่อุณหภูมิสม่ำเสมอ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณหน่วยงานส่งเสริมการวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยในการสร้างเกจวัดการยืดของชิ้นงานทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] M.J. Majoine, "New Machine for Creep and Creep Rupture tests", Trans. ASME, 1945, pp.111-116.
- [2] W. Trampczynski, C. Morrison, and W.E. Topliss, "A Tension-torsion Creep-rupture Testing Machine", J. of Strain Analysis, Vol. 15, No. 3, 1980, pp.151-157.
- [3] R. Viswanathan, Damage Mechanisms and Life Assessment of High Temperature Components, ASM, Ohio, 1989, pp.59-110.
- [4] R.L. Mott, Machine Elements in Machine Design, Prantice-Hall, USA, 2004, pp. 777.
- [5] "E1012 Standard Practice for Verification of Specimen Alignment Under Tensile Loading", ASTM standards, Vol. 03.01, 1996. pp. 705-712.
- [6] "E139 Standard Practice for Conducting Creep, Creep-rupture and Stress Rupture Tests of Metallic Materials", ASTM standards, Vol. 03.01, 1996, pp. 252-262.
- [7] M.S. Loveday, Standards for the Calibration of Extensometers, in "Material Metrology and standards for structural performance", Eds. B.F. Dyson, M.S. loveday and M.G. Gee, Chapman&Hall, pp.102-113.