



FEAT JOURNAL

FARM ENGINEERING AND AUTOMATION TECHNOLOGY JOURNAL

วารสารวิศวกรรมฟาร์มและเทคโนโลยีการควบคุมอัตโนมัติ

การศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิในเหล็กที่เชื่อมด้วยแรงเสียดทาน
โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

The Study of Temperature Distribution in Steel Rods Welded by Friction Welding
Using Finite Element Method

ปกรณ์ อุ่นไสง

Pakorn Auntaisong

*วิทยาลัยธาดูพนม มหาวิทยาลัยนครพนม

*Thatphanom College, Nakhonphanom University

Received: 29 April 2023

Revised: 25 June 2024

Accepted: 1 July 2024

Available online: online 26 December 2024

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการกระจายตัวของอุณหภูมิบริเวณรอยเชื่อมของเหล็กที่เชื่อมด้วยแรงเสียดทาน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm ยาว 100 mm วัดอุณหภูมิห่างจากบริเวณรอยเชื่อม ที่ระยะ 5 mm และ 10 mm ตามลำดับ แล้วเปรียบเทียบกับแบบจำลองโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ที่มีพื้นฐานมาจากเอลิเมนต์รูปทรงสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมผืนผ้า ชนิด 2D Axisymmetric ซอฟต์แวร์ที่ใช้ คือ Abaqus16.4 เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษามี 2 เงื่อนไข และมีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 5 ตัวแปร ได้แก่ แรงดันเสียดทาน (bar) เวลาเสียดทาน (sec) แรงดันอัด (bar) เวลาอัด (sec) และความเร็วรอบ (rpm) โดยมีตัวแปรที่แตกต่างกัน คือ แรงดันเสียดทาน (bar) ในเงื่อนไขที่ 1 คือ 20 bar และเงื่อนไขที่ 2 คือ 30 bar จากผลการทดลอง พบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างผลการทดลองและแบบจำลอง เงื่อนไขชุดที่ 1 ระยะ 5 mm อยู่ที่ 0.79% และระยะ 10 mm อยู่ที่ 3.58% และเงื่อนไขชุดที่ 2 ระยะ 5 mm อยู่ที่ 3.4% และระยะ 10 mm อยู่ที่ 5% จากการวิเคราะห์ผล พบว่า การเพิ่มแรงดันเสียดทาน

จาก 20 bar เป็น 30 bar ส่งผลให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นและกระจายตัวได้ดีขึ้น โดยแบบจำลองสามารถอธิบายการกระจายตัวของอุณหภูมิได้ ซึ่งให้ผลที่ใกล้เคียงและสอดคล้องกันกับการทดลอง

คำสำคัญ: การกระจายตัวของอุณหภูมิ เชื่อมด้วยแรงเสียดทาน วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

Abstract

This research studies the temperature distribution around the weld zone of friction-welded steel with a diameter of 15 mm and a length of 100 mm. The temperature was measured at distances of 5 mm and 10 mm from the weld zone and compared with a finite element method based on 2D axisymmetric triangular and quadrilateral thin shell elements. The software used is Abaqus 16.4. The study was conducted under two conditions with five related variables: friction pressure (bar), friction time (sec), upset pressure (bar), upset time (sec), and rotational speed (rpm). The differing variable is the friction pressure, which is 20 bar in Condition 1 and 30 bar in Condition 2. The experimental results showed that the error between the experimental data and the model for Condition 1 was 0.79% at a 5 mm and 3.58% at a 10 mm. For Condition 2, the error was 3.4% at a 5 mm and 5% at a 10 mm. The phenomena is similar for both finite element method and experiment. This implies that the finite element method model can be used predict the temperature distribution in welding process.

Keywords: Temperature distribution: Friction welding: Finite element method

*ติดต่อ: p.auntaisong@gmail.com, 097-338-178

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการเชื่อมพัฒนาไปมาก เพราะความก้าวหน้าทางเทคโนโลยี โดยมีการนำวิธีการเชื่อมในแบบต่างๆมาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการในภาคการผลิต การเชื่อมเสียดทานเป็นอีกหนึ่งตัวเลือกที่ดีและตอบโจทย์ด้านคุณภาพและความแข็งแรง เพราะรอยเชื่อมที่ได้จะประสานกันตลอดทั้งพื้นที่หน้าตัด อีกทั้งยังสามารถเชื่อมวัสดุที่ต่างชนิดกันได้ ไม่มีวัสดุช่วยประสาน ไม่มีควันในการเชื่อมที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จากข้อดีเหล่านี้จึงทำให้เกิดการศึกษาค้นคว้าอย่างแพร่หลาย

เกี่ยวกับงานเชื่อมเสียดทาน เพื่อศึกษาเทคนิควิธีการเชื่อมและศึกษาความแข็งแรงของรอยเชื่อม

นอกจากการศึกษาดังวิธีต่างๆ ในเบื้องต้นแล้ว การนำ Software มาช่วยในงานออกแบบและการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมก็เป็นที่ยอมรับและเป็นที่ยอมรับเช่นกัน เช่น R. Ramesh Kumar และคณะ [1] ได้ทำการทดลองเชื่อมเสียดทานด้วยวัสดุสองชนิดแล้ววัดอุณหภูมิ วัดความแข็งแรงระดับจุลภาค และทำการวิเคราะห์โครงสร้างของรอยเชื่อมจากนั้นเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลโดยใช้ โปรแกรม ANSYS R16.2 พบว่า ให้ผลที่สอดคล้องต่อกันและอุณหภูมิที่เหมาะสมจะส่งผลให้รอยเชื่อมมีความแข็งแรงและมี

นักวิจัยจากมหาวิทยาลัยไฮจิมีน ประเทศเวียดนาม Ho Thi My Nu และคณะ [2] ได้ทำการทดลองเชื่อมไทเทเนียม อัลลอยด์ (Ti6Al4V) เพื่อวิเคราะห์ความแข็งแรงของรอยเชื่อม แล้วใช้โปรแกรม Abaqus/Standard เปรียบเทียบกับผลการทดลองโดยแบบจำลองเป็นแบบ 2 มิติ เพื่อลดเวลาในการคำนวณ และผลพบว่า แรงเสียดทานในช่วงแรกจะส่งผลต่อการสะสมอุณหภูมิซึ่งมีผลโดยตรงต่อความแข็งแรงของรอยเชื่อม โดยที่อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในตอนแรกและเกือบคงที่เมื่อเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งผลลัพธ์เชิงตัวเลขสอดคล้องกับผลการทดลอง นอกจากนี้ Wen ya Li และ Fei fan Wang [3] นักวิจัยชาวจีนได้ทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องในกระบวนการเชื่อมเสียดทานที่ส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและความแข็งแรงของรอยเชื่อม ได้แก่ 1.เวลาเสียดทาน 2. แรงดันเสียดทาน 3. เวลาดันอัด 4.แรงดันอัด และ 5.ความเร็วรอบในการเชื่อม เป็นต้น

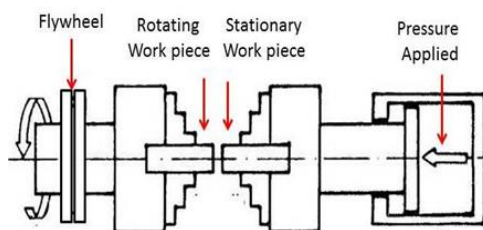
ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงให้ความสนใจการทดลองวัดอุณหภูมิในการเชื่อมเสียดทานเพื่อศึกษาลักษณะการกระจายตัว แล้วใช้แบบจำลองคำนวณหาค่าการกระจายตัวของอุณหภูมิแล้วเทียบผลกับการทดลอง Software ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ Abaqus 16.4

2. เครื่องมือและวิธีการวิจัย

2.1. หลักการเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน

การเชื่อมเสียดทาน เกิดจากการนำชิ้นงานสองชิ้นมาหมุนเสียดสีกันจนเกิดความร้อน โดยปลายด้านหนึ่งจะถูกยึดอยู่กับ Flywheel เพื่อหมุน และอีกปลายด้านหนึ่งจะจับยึดไว้เพื่อให้เคลื่อนที่เข้าหากัน และเมื่อชิ้นงานทั้งสองเสียดสีกันจนเหล็กเริ่มอ่อนตัว

ก็จะเพิ่มแรงดันในแนวแกนที่มากกว่าเดิม (Pressure Applied) ดันอัดชิ้นงานทั้งสองให้ติดกัน ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การเชื่อมด้วยแรงเสียดทาน [4]

2.2. การวัดอุณหภูมิบริเวณรอยเชื่อม

Eder Paduan Alves และคณะ [5] ได้ทดลองเชื่อมเสียดทาน แล้ววัดอุณหภูมิบริเวณรอยเชื่อมโดยเจาะชิ้นงานแล้วใช้ Thermo couple Type-k วัดอุณหภูมิจากจุดศูนย์กลางจนถึงขอบของชิ้นงาน เป็นระยะ 5, 10, 15 และ 20 mm ตามลำดับ ซึ่งการทดลองนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับงานวิจัยที่ต้องการศึกษานี้ โดยทำการเจาะชิ้นงานที่ไม่ได้หมุนให้มีความลึกประมาณ 3-5 mm และให้มีระยะห่างจากพื้นที่เสียดทาน 5 mm และ 10 mm จากนั้นต่อสายวัดอุณหภูมิ (Thermo couple Type-k) เข้ากับชิ้นงานเพื่อวัดอุณหภูมิขณะเชื่อม ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 การวัดอุณหภูมิของชิ้นงาน

2.3. เงื่อนไขการทดลอง

เงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ศึกษาภายใต้ตัวแปรที่เกี่ยวข้อง 5 ตัวแปร ได้แก่ เวลาเสียดทาน (sec) เวลาตันอัด (sec) แรงดันเสียดทาน (bar) แรงดันอัด (bar) และความเร็วยรอบ (rpm)

แรงดันเสียดทาน เป็นตัวแปรที่ต้องการศึกษาในงานวิจัยนี้ เพราะอุณหภูมิในการเชื่อมจะเพิ่มสูงขึ้นมากในช่วงแรก ซึ่งแรงดันเสียดทานจะส่งผลโดยตรงต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิ เพื่อสามารถอธิบายปรากฏการณ์ดังกล่าวให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จึงต้องกำหนดเงื่อนไข แรงดันเสียดทานให้แตกต่างกัน คือ 20 และ 30 bar เพื่อให้เห็นแนวโน้มการเพิ่มขึ้นและการกระจายตัวของอุณหภูมิที่ชัดเจน ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Jabbar Hassan และคณะ [6] ที่ได้ทำการทดลองเชื่อมเสียดทาน เหล็ก AISI 316 โดยใช้แรงดันเสียดทานหลายค่า

ตารางที่ 1

เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษา

เงื่อนไข	แรงดันเสียดทาน (bar)	เวลาเสียดทาน (sec)	แรงดันอัด (bar)	เวลาตันอัด (sec)	ความเร็วยรอบ (rpm)
1	20	10	60	5	1,300
2	30	10	60	5	1,300

2.4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การกระจายตัวของอุณหภูมิเป็นปรากฏการณ์ส่งผ่านความร้อนของโลหะจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ การเชื่อมเสียดทานเป็นการถ่ายเทความร้อนที่สภาวะกึ่งคงที่ของโลหะ (Semi-Infinite solid) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหา

สำหรับโลหะที่มีความยาว โดยปลายด้านหนึ่งเป็นพื้นที่ที่ได้รับความร้อนและเกิดการถ่ายเทความร้อนไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง ผิวสัมผัสจะเกิดการนำความร้อนที่ไม่คงที่ (Transient heat conduction) สมการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method: FEM) ของการกระจายตัวของอุณหภูมิในเหล็กสามารถอธิบายได้ตามหลักการของการนำความร้อน (Heat Conduction) ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation: PDE) ดังแสดงในสมการที่ (1) [7]

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q$$

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla \cdot (k \nabla T) + Q \quad (1)$$

เมื่อ ρ คือ ความหนาแน่นของวัสดุ (Density)

C คือ ความจุความร้อนจำเพาะ (Specific Heat Capacity)

T คือ อุณหภูมิ (Temperature)

k คือ ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity)

Q คือ แหล่งความร้อนภายใน (Internal Heat Generation)

T คือ เวลา (time)

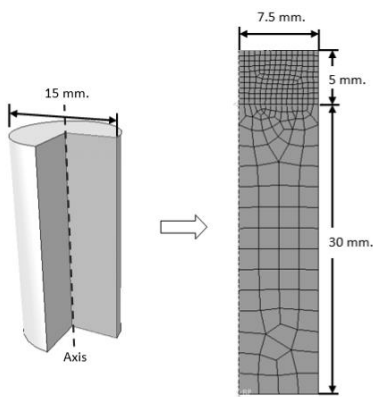
2.5. แบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา ได้จำลองให้เป็นแบบ 2 มิติ (2D Axisymmetric) เนื่องจากรูปร่างของชิ้นงานทดลองไม่มีความซับซ้อนและเป็นแบบสมมาตร จึงจำลองชิ้นงานเพียงครึ่งเดียว คือ 7.5 mm จากขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 mm เพื่อให้ง่าย

July – December 2024; 10(2) : 1 – 10

ต่อการคำนวณ สำหรับการหาเอลิเมนต์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง (Element Independent) พบว่า ในส่วนพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากความร้อนและเสียรูป (Plastic Deformation) จะมีเอลิเมนต์เล็กสุดขนาด 0.5 mm เป็นระยะ 5 mm และถัดไปเอลิเมนต์มีจะขนาดใหญ่สุดที่ 2.6 mm ประเภทเอลิเมนต์ (Element Type) เป็นแบบ Quadrilateral ชนิด CHAX4T:A4-node, CGAX4HT:A4-node, CGAX4R:a4-node ซึ่งมีเอลิเมนต์ทั้งหมด 307 เอลิเมนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3

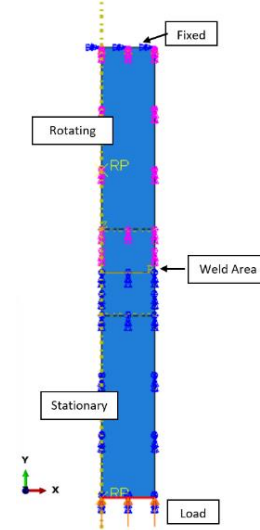
การบันทึกอุณหภูมิ จะกำหนดไว้ที่โนด (Node) ตามระยะที่ทำการทดลองวัดอุณหภูมิที่ 5 mm และ 10 mm ตามลำดับ เนื่องจากอิทธิพลของความเร็วรอบที่ 1,000 rpm - 1,200 rpm จะส่งผลให้ความร้อนสะสมมากที่สุดของชิ้นงาน เช่นตัวอย่างการทดลองของ Seli H และคณะ [8] ได้บันทึกผลอุณหภูมิที่ Node ซึ่งอยู่ขอบของชิ้นงาน



รูปที่ 3 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

กำหนดเงื่อนไขขอบเขตของชิ้นงาน (Boundary condition) ดังนี้ Step1 (Rotating): ยึดชิ้นงาน (YSYMM,U2=UR1=UR3=0) และกำหนดให้

ชิ้นงานดังกล่าวหมุนได้อิสระรอบแกน Y (VR2=125.66) Step 2 (Stationary): กำหนดจุดยึดแกน (UR2=UR3=0) และให้เคลื่อนที่ในแกน Y ตามโหลดที่กำหนด (Load) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Condition)

ชิ้นงานที่ใช้ทดลองเป็นเหล็กคาร์บอนต่ำที่มีธาตุคาร์บอนผสมอยู่ 0.12% ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการตรวจสอบหาธาตุองค์ประกอบ ทำให้ทราบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของเหล็กคาร์บอนต่ำที่ใช้ในแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งผลสอดคล้องกับงานวิจัยของ Li W Y และคณะ [9] ที่ได้ทดลองเชื่อมเหล็กคาร์บอนต่ำด้วยวิธีเสียดทาน และใช้ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานนี้ในแบบจำลอง นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติทางความร้อนที่สำคัญที่จำเป็นต้องใช้ในแบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 3 [10]

ตารางที่ 2

อุณหภูมิและสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ใช้ในแบบจำลอง

อุณหภูมิ Temperature (°C)	สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน Friction Coefficient
15	0.4
200	0.577
400	0.777
600	0.577
800	0.4
1,000	0.2
1,200	0.1

ตารางที่ 3

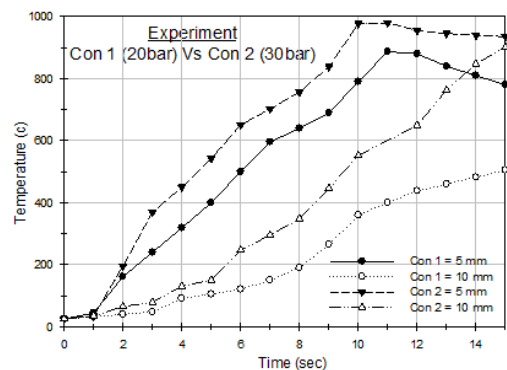
คุณสมบัติทางความร้อน

อุณหภูมิ Temperature (°C)	ค่าการนำความร้อน Thermal conductivity (W/mK)	ค่าความร้อนจำเพาะ Specific heat (J/kgK)
27	51.6	473
100	51.1	486
200	49.0	520
400	42.7	599
600	35.6	749
800	26.0	950
1,000	5	644
1,200	0.6	661

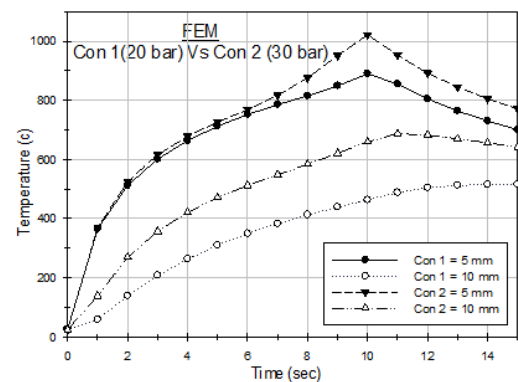
3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองวัดอุณหภูมิในรูปที่ 5 พบว่า แรงดันเสียดทานมีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิมาก ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบกระบวนการ แรงดันที่มากขึ้นจะส่งผลให้อุณหภูมิมากขึ้นด้วย จากกราฟทั้งสองเงื่อนไข ในช่วง 1-2 sec พบว่า อุณหภูมิยังไม่พุ่งสูงขึ้นและยังไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการ

เชื่อมต้องสะสมพลังงานความร้อนที่มากพอและเอาชนะแรงเสียดทานอุณหภูมิถึงจะติดตัวสูงขึ้นได้ โดยในช่วง 10-12 sec จะเป็นช่วงที่อุณหภูมิติดตัวขึ้นสูงสุด เนื่องจากแรงดันอัดที่มากกว่าเดิมดันอัดขึ้นงานให้ติดกัน สรุปคือ แรงดัน 30 bar ส่งผลให้อุณหภูมิในการเชื่อมสูงกว่าแรงดัน 20 bar ตลอดทั้งกระบวนการ



รูปที่ 5 กราฟเปรียบเทียบผลการทดลอง (เงื่อนไขที่ 1 กับ เงื่อนไขที่ 2)

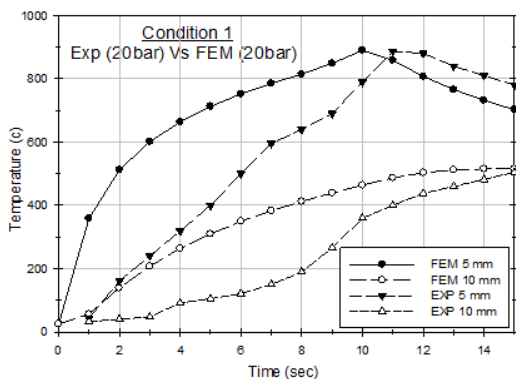


รูปที่ 6 กราฟเปรียบเทียบผลแบบจำลอง (เงื่อนไขที่ 1 กับ เงื่อนไขที่ 2)

ผลการคำนวณในแบบจำลองในรูปที่ 6 พบว่าแบบจำลองสามารถคำนวณผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในกระบวนการเชื่อมเสียดทานได้ และแรงดันเสียดทานส่งผลต่อระดับของอุณหภูมิใน

July – December 2024; 10(2) : 1 – 10

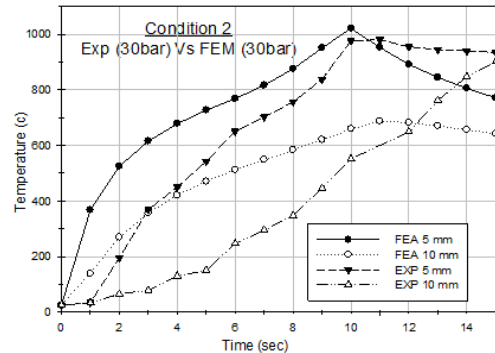
กระบวนการเชื่อม ซึ่งแรงดันเสียดทานยิ่งมาก อุณหภูมิก็มากขึ้นตาม จะเห็นว่าเวลาในช่วง 1-6 sec ในเงื่อนไขที่ 1 และ เงื่อนไขที่ 2 ที่ระยะ 5 mm อุณหภูมิจะยังไม่แตกต่างกันมากนัก แต่หลังจากวินาทีที่ 6 เป็นต้นไป อุณหภูมิเริ่มมีความแตกต่างกันมากขึ้น โดยเฉพาะในเงื่อนไขที่ 2 ที่ระยะ 5 mm อุณหภูมิเริ่มดีดตัวสูงขึ้นเนื่องจากการสะสมความร้อนและแรงดันที่มากพอและสูงสุดในวินาทีที่ 10 อุณหภูมิอยู่ที่ 1,060 °C



รูปที่ 7 กราฟเทียบผลการทดลองกับแบบจำลอง (เงื่อนไขที่ 1)

รูปที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองและแบบจำลองของเงื่อนไขชุดที่ 1 พบว่า ในการทดลองจากเหตุผลที่กล่าวไปในตอนต้นว่า ในช่วงแรกที่เวลา 1-2 sec เครื่องเชื่อมต้องสร้างแรงดันและสะสมความร้อนที่มากพอที่จะเอาชนะแรงเสียดทาน อุณหภูมิจึงจะดีดตัวสูงขึ้น จากกราฟในรูปที่ 7 การเปรียบเทียบผล พบว่า ที่ระยะ 5 mm ที่วินาทีที่ 11 อุณหภูมิมีความใกล้เคียงกันมากที่สุด คือ การทดลองอุณหภูมิ 887 °C และแบบจำลองอุณหภูมิ 896 °C โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 0.79 % และที่ระยะ 10 mm วินาทีที่ 15 การทดลองอุณหภูมิ 502 °C และแบบจำลองอุณหภูมิ 520 °C มีค่าความ

คลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.58% โดยมีแนวโน้มที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น



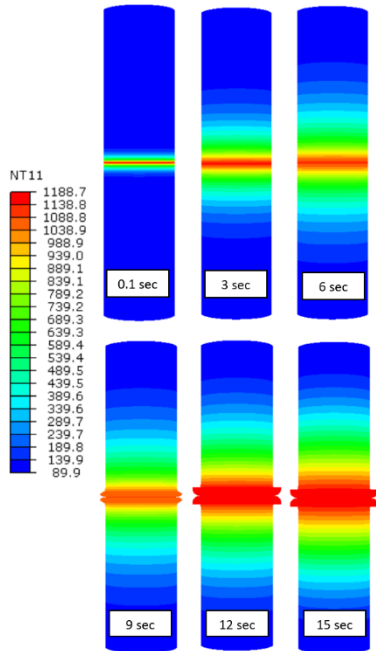
รูปที่ 8 กราฟเทียบผลการทดลองกับแบบจำลอง (เงื่อนไขที่ 2)

รูปที่ 8 เป็นการเปรียบเทียบผลระหว่างการทดลองและแบบจำลองของเงื่อนไขชุดที่ 2 พบว่า ผลจากการเพิ่มแรงดันเสียดทานส่งผลให้อุณหภูมิในการทดลองและแบบจำลองมีความใกล้เคียงกันมาก ตั้งแต่เริ่มกระบวนการ โดยเฉพาะที่ระยะ 5 mm และใกล้เคียงกันมากที่สุดที่วินาทีที่ 11 การทดลองอุณหภูมิ 1,024 °C และแบบจำลองอุณหภูมิ 1,060 °C โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 3.4% และที่ระยะ 10 mm วินาทีที่ 12 การทดลองอุณหภูมิ 649 °C และแบบจำลองอุณหภูมิ 682 °C มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ที่ 5%

รูปที่ 9 แสดงผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในแบบจำลองภายใต้ตัวแปรแรงดันเสียดทาน โดยแสดงในรูปแบบชั้นแถบสี (Contour) ซึ่งการกระจายตัวของอุณหภูมิ จะเริ่มตั้งแต่วินาทีแรกที่ขึ้นงานสัมผัสและเสียดสีกันเนื่องจากแรงดันเสียดทานและความเร็วรอบ โดยเฉพาะในวินาทีที่ 9 -10 ขึ้นงานเริ่มมีอุณหภูมิสูง และเริ่มมีการอ่อนตัวจนเกิดการเสียรูปแบบพลาสติก (Plastic deformation) อีกทั้งยังมี

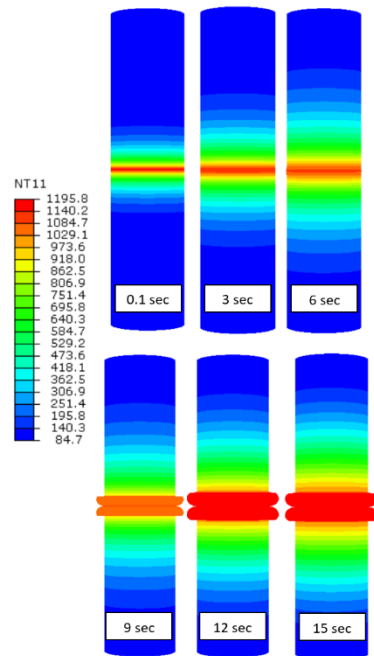
July – December 2024; 10(2) : 1 – 10

การเพิ่มแรงดันในแนวแกนจาก 20 bar เป็น 60 bar เพื่อดันอัดชิ้นงานให้ติดกันและเกิดการเสียรูปมากขึ้น ดังแสดงในรูปภาพ วินาทีที่ 12-15



รูปที่ 9 การกระจายตัวของอุณหภูมิในแบบจำลอง แรงดัน 20 bar

รูปที่ 10 แสดงการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเสียรูปของชิ้นงานภายใต้แรงในแนวแกน 30 bar ลักษณะการกระจายตัวของอุณหภูมิคล้ายกันกับเงื่อนไขที่ผ่านมา แต่จะแตกต่างกันที่ลักษณะการเสียรูปของชิ้นงานที่มีมากกว่าเนื่องจากแรงดันเสียดทานที่มากกว่า ผลจากการเพิ่มแรงดันเสียดทาน ทำให้อุณหภูมิบริเวณรอยเชื่อมของชิ้นงานสูงขึ้น และการเสียรูปของชิ้นงานก็มากขึ้นเช่นเดียวกัน โดยเฉพาะในวินาทีที่ 12-15 ดังแสดงในรูปที่ 10 และในรูปที่ 11 แสดงชิ้นงานที่เชื่อมเสียดทานเมื่อจบกระบวนการ



รูปที่ 10 การกระจายตัวของอุณหภูมิในแบบจำลอง แรงดัน 30 bar



รูปที่ 11 ลักษณะการเสียรูปของชิ้นงาน

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองและแบบจำลอง ณ ที่ตำแหน่งต่างๆ และสรุปค่าความคาดเคลื่อนของแต่ละเงื่อนไข ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้

ตารางที่ 4

สรุปเทียบผลการทดลองกับแบบจำลอง

เงื่อนไข	อุณหภูมิที่ ระยะ 5 mm. (°C)	ความ คาค เคลื่อน (%)	อุณหภูมิที่ ระยะ 10 mm. (°C)	ความ คาค เคลื่อน (%)
Exp.1	887	0.79	502	3.58
FEM.1	896		520	
Exp.2	1,024	3.4	649	5
FEM.2	1,060		682	

4. สรุป

1. แบบจำลอง FEM 2 D ที่สร้างขึ้นสามารถวิเคราะห์และทำนายผลการกระจายตัวของอุณหภูมิในกระบวนการเชื่อมเสียดทานได้ และเทียบกับผลการทดลอง โดยให้ค่าความคาคเคลื่อนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย Ho Thi My Nu และคณะ [2] กับ Wen ya Li และ Fei fan Wang [3]

2. ตอนเริ่มกระบวนการเชื่อมเสียดทานอุณหภูมิยังไม่ดีตัวสูงขึ้นทันที เนื่องจากเครื่องเชื่อมต้องการแรงดันและการสะสมความร้อนที่มากพอ แต่การทำงานของเครื่องเชื่อมเข้าสู่สภาวะปกติ ผนวกกับสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ลดลง อุณหภูมิจึงดีตัวสูงขึ้นหลังจากผ่านช่วง 1-2 sec

3. ตัวแปรแรงดันเสียดทานมีผลต่อการกระจายตัวของอุณหภูมิและการเสียรูปของวัสดุจริงตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ในตอนต้น และสอดคล้องกับตัวอย่างการแสดงผลในคู่มือ Abaqus Example Problem Guide [11] และงานวิจัยของ Medhat Awad El-Hadek และคณะ [12]

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยอาชีวศึกษา มหาวิทยาลัยนครพนม ที่ให้การสนับสนุนและอำนวยความสะดวก รวมถึงคณาจารย์ทุกท่านที่ให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Ramesh Kumar R, et al. Experimental and analytical investigation on friction welding dissimilar joints for aerospace applications. Ain Shams Engineering Journal 2023; 14(2), 1-17.
- [2] Ho Thi My N, et al. A Study on Rotary Friction Welding of Titanium Alloy (Ti6Al4V). Advances in Materials Science and Engineering 2019; 2019(1), 1-9.
- [3] Wen ya L, Fei fan W. Modeling of continuous drive friction welding of mild steel. Materials Science and Engineering A 2011; 528, 5921–5926.
- [4] Friction Welding: Principle, Working, Type, Application, Advantages and Disadvantages [Internet]. [cited 2017 April 6] Available from: URL: <https://www.mech4study.com/2017/04/friction-welding-principle-working-types-application-advantages-and-disadvantages.html>.
- [5] Eder Paduan A, et al. Experimental Thermal Analysis in Rotary Friction Welding of Dissimilar Materials. J

- Aerosp. Technol Manag 2019; 11(e4019): 1-9.
- [6] Jabbar Hassan A, et al. Experimental Investigation of Friction Pressure Influence on the Characterizations of Friction Welding Joint for AISI 316. International Journal of Engineering. IJE TRANSACTIONS C: Aspetcs 2020; 33(12), 2514-2520.
- [7] Xiawei Y, et al. Finite element modelling for temperature, stresses and strains calculation in linear friction welding of TB9 titanium alloy. J m a t e r r e s t e c h n o l 2 0 1 9; 8(5), 4797–4818.
- [8] Seli H, et al. Evaluation of Properties and FEM Model of the Friction Welded Mild Steel - Al6061 - Alumina. Materials Research 2013; 6(2), 453-467.
- [9] Li W Y, et al. Heat reflux in flash and its effect on joint temperature history during linear friction welding of steel. International Journal of Thermal Sciences 2013; 67 (2), 192-199.
- [10] Kimura M, et al. Analysis Method of Friction Torque and Weld Interface Temperature During Friction Process of Steel Friction Welding. Journal of Solid Mechanics and Materials Engineering 2010; 4(3), 401-403.
- [11] ABAQUS Example problem guide, Volume I: Static and dynamic analysis; 2016.
- [12] Medhat Awad El-Hadek. Sequential Transient Numerical Simulation of Inertia Friction Welding Process. Proceedings of IMECE2008 ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition; 2008 Oct 31-Nov 6; Boston, Massachusetts, USA.