

อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดึงกลับสปริงโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไทเทเนียม
เพื่อประยุกต์ใช้เป็นแอกชูเอเตอร์ของเครื่องจักรกลความร้อน

INFLUENCE OF HEAT TREATMENT TEMPERATURE ON RECOVERY FORCE SPRING USED FOR ACTUATOR OF HEAT ENGINE

Received: 15-12-2019

Revised: 7-1-2020

Accepted: 21-1-2020

ชวณ ธารวัชรรงค์¹ อนรรฆ ชันชะวานะ² และ อภินันท์ ภูเก้าล้วน^{1*}

Chawapon Thanarwathnarrong¹ Anak Khantachawana² and Aphinan Phuakoluan^{1*}

¹ สาขาวิชาการจัดการพลังงานและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม

² ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หลักสูตรวิศวกรรมชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

*Corresponding author: aphinanp@siamtechno.ac.th

ABSTRACT

It is well known that if you would like to use shape memory alloy and apply to actuator, heat treatment must be required in order to activate shape memory alloy effect. The heat treatment has a direct effect on the mechanical properties of the shape memory alloy. This research therefore studied the influence of heat treatment temperature of nickel-titanium alloy spring. The wire with diameter 0.7 mm. was formed to be a spring at index 6.71 and heat treatment at 350, 400 and 450°C. After that, phase transformation temperature of the spring specimens was evaluated by differential scanning calorimeter (DSC) technique. Also, spring tension tests at 25 and 65°C were used to compare the influence of the heat treatment temperature. From the experiment, it is found that the most suitable spring to be applied for actuator of heat engine is the spring with maximum recovery force spring at 6.522 N by heat treatment at 350°C.

Keyword: Heat engine, Heat treatment, NiTi shape memory alloy, Actuator

บทคัดย่อ

เป็นที่ทราบกันดีว่าหากต้องการนำโลหะผสมจำรูปมาประยุกต์ใช้เป็นแอกชูเอเตอร์ จำเป็นต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนเพื่อให้สามารถจำรูปตามที่ต้องการได้ กรรมวิธีทางความร้อนมีผลกระทบโดยตรงต่อสมบัติเชิงกลของโลหะผสมจำรูป งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิของสปริงโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไทเทเนียม โดยใช้ลวดที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 mm มาขึ้นรูปสปริงโดยกำหนดค่าดัชนีของสปริงเท่ากับ 6.71 และอบที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C จากนั้นทดสอบอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimetry (DSC) และทดสอบแรงดึงสปริงที่อุณหภูมิ 25°C และ 65°C เพื่อนำมาเปรียบเทียบอิทธิพลของอุณหภูมิการอบ จากการทดลองพบว่าสปริงที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับนำไปประยุกต์ใช้เป็นแอกชูเอเตอร์ของเครื่องจักรกลความร้อน คือ สปริงที่มีแรงดึงกลับสปริงสูงสุดอยู่ที่ 6.522 N เมื่อผ่านอบสปริงที่อุณหภูมิ 350°C

คำสำคัญ: เครื่องจักรกลความร้อน, กรรมวิธีทางความร้อน, โลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไทเทเนียม, แอกชูเอเตอร์

<http://jeet.siamtechu.net>

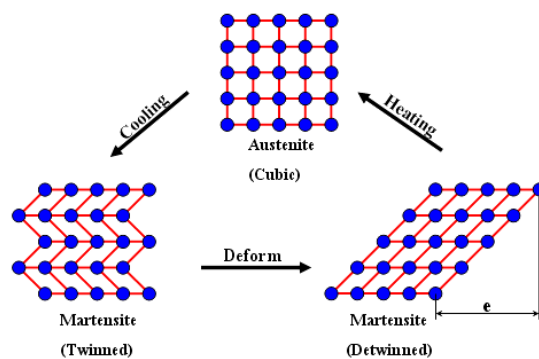
1. บทนำ

ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมหลายประเภทโดยส่วนใหญ่จะมีความต้องการใช้พลังงานความร้อนในกระบวนการผลิตเพื่อการแปรรูปสินค้า มีการใช้พลังงานความร้อนที่หลากหลายรูปแบบ โดยมีแหล่งกำเนิดความร้อนมาจากเชื้อเพลิงแข็ง เชื้อเพลิงเหลวและเชื้อเพลิงก๊าซ เพื่อผลิตความร้อนในรูปของลมร้อน น้ำร้อน ไอน้ำ เป็นต้น โดยความร้อนเหล่านี้เมื่อถูกใช้ในกระบวนการผลิตแล้วก็จะมีความร้อนที่เหลือทิ้งจากกระบวนการ ซึ่งจะมีอุณหภูมิที่ลดต่ำลง การสูญเสียพลังงานความร้อนโดยเปล่าประโยชน์ดังกล่าวสูงถึง 60% โดย 90% ของความร้อนนั้นมีอุณหภูมิต่ำกว่า 200 องศาเซลเซียส [1] แม้กระทั่งความร้อนได้พิภพก็ยังเป็นแหล่งความร้อนที่อุณหภูมิต่ำ จากข้อมูลพบว่าอุณหภูมิของน้ำพุร้อนบริเวณภาคเหนืออยู่ที่ 34-100°C ภาคกลางอยู่ที่ 38-56°C และภาคใต้อยู่ที่ 41-80°C [2] จะเห็นได้ว่าพลังงานความร้อนได้พิภพและพลังงานความร้อนที่สูญเสียในอุตสาหกรรมเป็นพลังงานที่เสียเปล่า ดังนั้นหากมีการคิดค้นสร้างนวัตกรรมใหม่ๆ ด้านการเก็บเกี่ยวพลังงานจากความร้อน เครื่องจักรกลความร้อนจากโลหะผสมจำรูปเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลและเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้

เครื่องจักรกลความร้อนจากโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม มีหลายชนิด แต่ละชนิดก็มีประสิทธิภาพที่ต่างกัน [3] แต่มีเพียง 3 ชนิดที่นิยมสร้างเพื่อการใช้งานจริง เนื่องจากให้ความสามารถในการผลิตไฟฟ้าต่อหน่วยมวลของวัสดุ (ความหนาแน่นพลังงาน, Power Density) สูง คือ เครื่องจักรกลความร้อนออฟเซตแครงค์ (2.35 W/g) เครื่องจักรกลความร้อนทวินแครงค์ (1.08 W/g) และเครื่องจักรกลความร้อนพูเล (1.08 W/g) [4]

ในการออกแบบเครื่องจักรกลความร้อนจากโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นมีตัวแปรสำคัญคือ แอคชูเอเตอร์ ซึ่งแอคชูเอเตอร์ คือ ต้นกำเนิดแรงที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล โดยทั่วไปจะให้ผลออกมาในรูปของแรงและระยะทาง แอคชูเอเตอร์ที่ทำมาจากโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม นั้นเป็นแอคชูเอเตอร์ทางความร้อนชนิดหนึ่ง โดยใช้ประโยชน์จากสมบัติการจำรูป (Shape memory effect) เพื่อกระตุ้นให้เกิดการเคลื่อนที่และแรงโดยใช้แอคชูเอเตอร์โลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียมที่มีสมบัติแบบ Two-way ซึ่งมีความสามารถในการเคลื่อนที่ไป-กลับได้จากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิเพิ่มขึ้นหรือลดลง โลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียมสามารถเปลี่ยนแปลงความเครียดได้สูง 8-10% [5] โลหะนิกเกิล-ไทเทเนียมถูกค้นพบมาเป็นเวลานานกว่า 50 ปี [6] และได้รับการพัฒนาต่อมาโดยกองทัพสหรัฐอเมริกาเพื่อใช้ในกิจการอวกาศแห่งชาติอเมริกา (NASA) โดยใช้ชื่อว่า นิตินอล (Nitinol) อันเป็นชื่อที่ประกอบด้วยคำว่า Ni มาจากนิเกิล Ti มาจากไทเทเนียม และ nol มาจาก Naval Ordnance Laboratory ซึ่งหมายถึงห้องทดลองสรรพาวุธทหารเรือ [7] สมบัติการจำรูป มีความเกี่ยวข้องกับ Thermoelastic Martensite Transformation ซึ่งการจัดเรียงตัวของโครงสร้างผลึกจะเป็นแบบทวิน (Twins) กลไกการจำรูปสามารถอธิบายได้โดยเริ่มจากเฟสออสเทนไนต์ถูกลดอุณหภูมิจนทำให้เกิดการจัดเรียงตัวเองของ Variant เป็นเฟสมาร์เทนไซต์ เมื่อมีแรงภายนอกมากกระทำ จะส่งผลให้ขอบเขตแบบทวินมีการเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน ทำให้รูปร่างของวัสดุเปลี่ยนแปลงโดยโครงสร้างภายในยังเป็นมาร์เทนไซต์อยู่ แต่เมื่อให้ความร้อนจนกระทั่งกลายเป็นเฟสออสเทนไนต์ วัสดุจะกลับมาเป็นรูปร่างเดิม ถาลดอุณหภูมิวัสดุก็จะกลายเป็นเฟสมาร์เทนไซต์ตามเดิมโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างภายนอก (เปลี่ยนเฉพาะโครงสร้างภายใน) การจัดเรียงตัวใหม่ของอะตอมในโครงสร้างผลึกแสดงดังรูปที่ 1 อย่างไรก็ตามถ้ามีความเครียดมากเกินไปก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบเลื่อนไถล (Slip Deformation) ซึ่งเป็นตัวยับยั้งกระบวนการย้อนกลับและเป็นผลให้เกิดการจำรูปที่ไม่สมบูรณ์

<http://jeet.siamtechu.net>



รูปที่ 1 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างในโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไทเทเนียม [8]

โดยทั่วไปลวดโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไทเทเนียมที่ได้จากการผลิตนั้น มักผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเย็น ทำให้เกิด Work-hardens ในโครงสร้างภายในของวัสดุ ผลกระทบดังกล่าวส่งผลให้วัสดุไม่มีการเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นภายในโครงสร้าง กลไกของการจำรูปจึงไม่เกิด กรรมวิธีทางความร้อนเป็นการปรับปรุงสมบัติการจำรูปให้เกิดขึ้นอีกครั้ง ปกติอุณหภูมิที่ใช้เป็นเกณฑ์ในกรรมวิธีทางความร้อน คือ อุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ (Recrystallization) หากใช้อุณหภูมิอบสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ส่งผลให้กลไกการจำรูปเกิดขึ้นได้ง่าย แต่จะส่งผลให้แรงจากการจำรูปลดลงอย่างมีนัยสำคัญ [9] การใช้อุณหภูมิอบต่ำกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่จะส่งผลให้กลไกการจำรูปเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกัน แต่จะส่งผลให้แรงจากการจำรูปมากกว่าอุณหภูมิอบที่สูงกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ อุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไทเทเนียม อยู่ที่ 520°C [10]

ผู้วิจัยได้เห็นถึงความสำคัญของกรรมวิธีทางความร้อน โดยศึกษาอุณหภูมิในการอบที่มีผลต่อแรงดึงกลับสปริง เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเลือกโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม สำหรับประยุกต์ใช้เป็นแอคชูเอเตอร์ของเครื่องจักรกลความร้อนที่สามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ 50-80°C

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อแรงดึงกลับสปริงโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม เพื่อประยุกต์ใช้เป็นแอคชูเอเตอร์ของเครื่องจักรกลความร้อน

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม (NT-H8 As Drawn, Furukawa Electric Co., Ltd.) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.7 mm พันรอบแกนเหล็กกล้าไร้สนิมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 mm โดยกำหนดค่าดัชนีสปริงเท่ากับ 6.71 เพื่อสร้างสปริงความยาว 60 mm ดังแสดงในรูปที่ 2



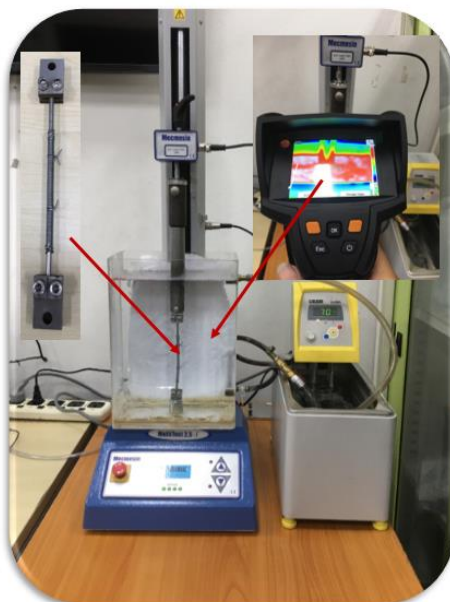
รูปที่ 2 การสร้างสปริงจากลวดโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไทเทเนียม

<http://jeet.siamtechu.net>

นำแท่งเหล็กที่ผ่านกระบวนการวิธีทางความร้อนเพื่ออบจำรูปสปริง โดยใช้เตาอบยี่ห้อ CHAVACHOTE รุ่น L9/12PS ที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C เป็นระยะเวลา 30 min ในบรรยากาศอาร์กอน แล้วนำมาชุบลงในน้ำเย็น จากนั้นทำความสะอาดสปริงโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ด้วยการกัดกรดที่มีส่วนผสมของ กรดไฮโดรฟลูออริก กรดไนตริกและน้ำในสัดส่วน $\text{HF}:\text{HNO}_3:\text{H}_2\text{O}$, 1:4:5 ประมาณ 1 min

การทดสอบหาอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสของโลหะด้วยเทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) ยี่ห้อ METTLER TOLEDO รุ่น DSC-1 เพื่อตรวจสอบอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสที่ทำให้สปริงสามารถยืด-หดได้ โดยเงื่อนไขในการทดสอบจะทำการช่วงอุณหภูมิ 0-120°C และอัตราการเพิ่ม/ลดอุณหภูมิ 20°C/min ชิ้นงานที่นำมาทดสอบผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C มีน้ำหนัก 24.27 mg, 24.28 mg และ 25.08 mg ตามลำดับ และเปรียบเทียบกับลวดที่ผลิตจากโรงงาน

การทดสอบแรงดึงกลับของสปริงโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม นำสปริงมาติดตั้งกับตัวจับยึด โดยกำหนดระยะความยาวสปริงเท่ากับ 35 mm จากนั้นติดตั้งเข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึง Mecmesin รุ่น MultiTest 2.5-i ใช้โหลดเซลล์ขนาด 25 N ความเร็วในการดึง 5 mm/min ระยะในการยืดสปริง 70 mm ภายใต้น้ำที่มีอุณหภูมิ 25°C และ 65°C โดยใช้กล้องอินฟราเรดวัดอุณหภูมิ ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 การทดสอบแรงดึงกลับของสปริงโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม

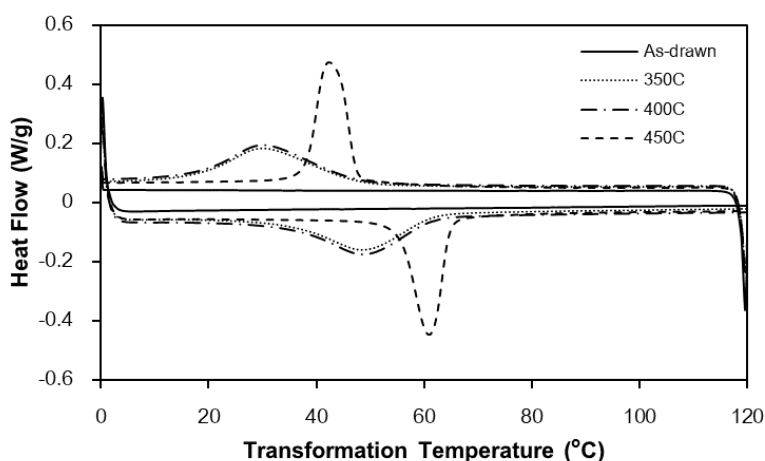
4. ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

4.1 การทดสอบหาอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสของโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม

การเปลี่ยนเฟสเป็นการแสดงว่าโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม มีสมบัติเป็นอย่างไรที่อุณหภูมิเท่าไร กล่าวคือโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม มีการกลับคืนรูปได้โดยการเปลี่ยนเฟส โดยทั่วไปโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม มีการเปลี่ยนเฟส 2 เฟส คือ มาร์เทนไซต์เป็นเฟสที่อุณหภูมิต่ำและออสเทนไนต์เป็นเฟสที่อุณหภูมิสูง จากรูปที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Heat Flow กับอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสของสปริงที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจากเทคนิค DSC พบว่าโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ 350, 400 และ 450°C มีการเปลี่ยนเฟสจากเฟสออสเทนไนต์ (A) เป็นเฟสมาร์เทนไซต์ (M) โดยสังเกตได้จาก Peak ของเส้นกราฟที่เปลี่ยนแปลง ทำให้สามารถทราบพฤติกรรมของการเปลี่ยนเฟสต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในโครงสร้างของวัสดุ จากรูปที่ 4 (ในส่วนของ As-drawn) แสดงให้เห็นว่าลวดที่

<http://jeet.siamtechu.net>

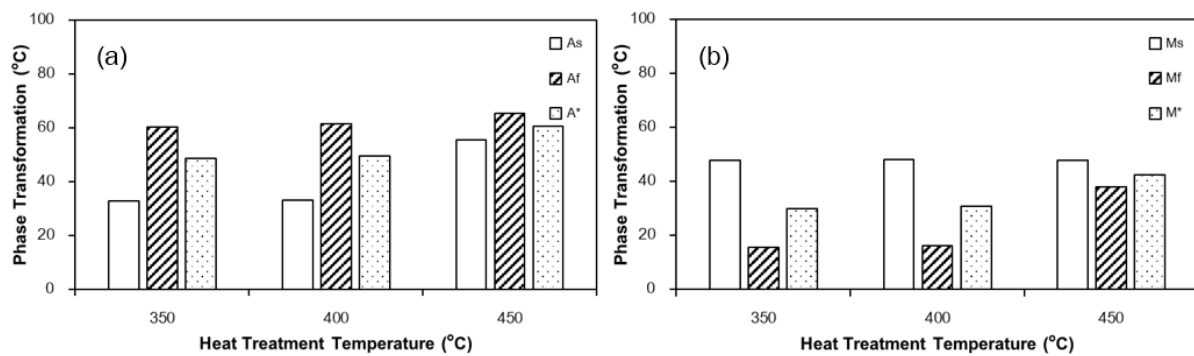
ได้จากการผลิตในโรงงานผ่านกระบวนการดึงผ่านดายนหรือรีดเย็นมา ทำให้โครงสร้างภายในเกิดความเค้นของดิสโลเคชันจำนวนมาก ส่งผลให้เกิดการขัดขวางกลไกการเปลี่ยนเฟส จึงไม่มีการเปลี่ยนแปลง Peak ให้เห็น [10-12] เมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350 และ 400°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิในช่วง Recovery ทำให้ความเค้นที่มีอยู่ในโลหะผสมนิเกิล-ไทเทเนียมลดลงบางส่วน ส่งผลให้เริ่มเกิด Peak ให้เห็น ในขณะที่เมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C (เป็นอุณหภูมิใกล้เคียงการเกิดผลึกใหม่) ความเค้นภายในลดลงอย่างมาก ส่งผลให้กลไกการเปลี่ยนเฟสเกิดขึ้นได้ง่าย Peak จึงเกิดขึ้นชัดเจน



รูปที่ 4 เปรียบเทียบกราฟ DSC ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C

จากรูปที่ 4 สามารถหาค่าอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสออสเทนไนต์และมาร์เทนไซต์ที่ตำแหน่งต่าง ๆ โดยวิธีการ Tangent Method ดังแสดงดังรูปที่ 5 สังเกตได้ว่าอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสระหว่างออสเทนไนต์กับเฟสมาร์เทนไซต์จะลดลงเมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิลดลง โดยอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสแต่ละช่วงสามารถอธิบายได้ดังนี้ จากอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสออสเทนไนต์สิ้นสุด (A_f) เป็นอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสมาร์เทนไซต์เริ่มต้น (M_s) จากนั้นเปลี่ยนเป็นอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสมาร์เทนไซต์สิ้นสุด (M_f) และเปลี่ยนกลับเป็นอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสออสเทนไนต์เริ่มต้น (A_s) จนเป็นอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสออสเทนไนต์สิ้นสุด (A_f) อีกครั้ง สำหรับการพิจารณาโลหะผสมนิเกิล-ไทเทเนียม เพื่อใช้เป็นแอคชูเอเตอร์ในขับเคลื่อนเครื่องจักรกลความร้อนนั้น จะพิจารณาในส่วนของอุณหภูมิออสเทนไนต์สิ้นสุด (A_f) เนื่องจากเป็นอุณหภูมิที่สปริงมีแรงดึงกลับสูงสุด โดยกำหนดให้สามารถทำงานได้ในช่วง 50-80°C จากผลการทดลองดังรูปที่ 5 แสดงให้เห็นว่าสปริงที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C สามารถนำสปริงมาเป็นแอคชูเอเตอร์ได้ทั้งหมด เนื่องจากมีอุณหภูมิเปลี่ยนเฟสออสเทนไนต์สิ้นสุด (A_f) อยู่ในช่วง 60.2-65.3°C เมื่อพิจารณาช่วงของอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟส (Transformation Hysteresis) สามารถคำนวณได้จาก A^*-M^* ซึ่งเป็นตัวบ่งชี้ถึงความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิทำงานของแอคชูเอเตอร์ พบว่าสปริงที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350°C จะมีค่าช่วงของอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสเท่ากับ 18.5°C เมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 400°C จะมีค่าช่วงของอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสเท่ากับ 18.5°C และเมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 450°C จะมีค่าช่วงของอุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสเท่ากับ 18.1°C จากผลการทดลองดังกล่าวไม่เห็นถึงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของความไวในการตอบสนองต่ออุณหภูมิทำงานของแอคชูเอเตอร์ ดังนั้นสามารถนำสปริงมาเป็นแอคชูเอเตอร์ได้ทั้งหมด

<http://jeet.siamtechu.net>

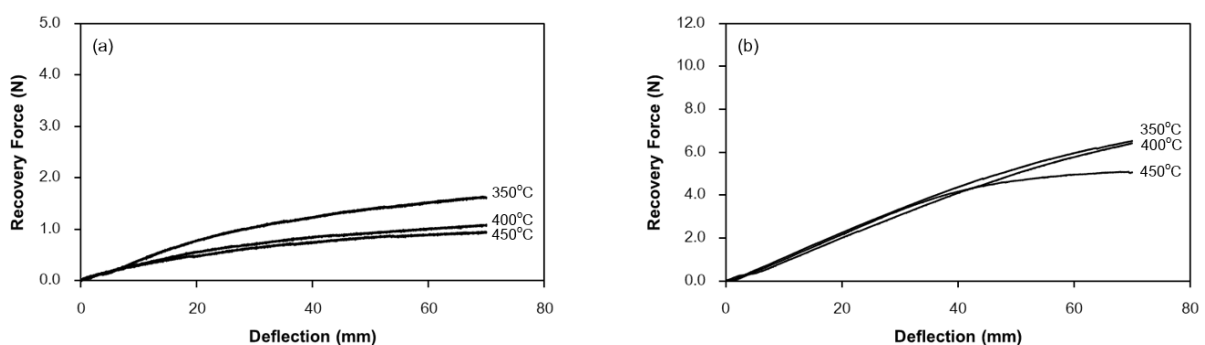


รูปที่ 5 อุณหภูมิการเปลี่ยนเฟสของสปริงเมื่ออบที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C

(a) เฟสออสเทนไนต์ (b) เฟสมาร์เทนไซต์

4.2 การหาแรงดึงกลับของสปริงโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม

พิจารณาความแตกต่างของแรงดึงสปริงโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ดังแสดงในรูปที่ 6 เพื่อให้เข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 25°C และ 65°C โดยนำสปริงที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C ทดสอบในน้ำที่อุณหภูมิ 25°C ดังรูปที่ 6 (a) พฤติกรรมของแรงดึงกลับสปริงเป็นเส้นโค้ง (Non-linear) เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวสปริงมีเฟสเป็นมาร์เทนไซต์ 100% โดยมีโครงสร้างภายในเป็นแบบทวิน เมื่อได้รับแรงดึงสปริงจะค่อยๆ เปลี่ยนเป็นโครงสร้างภายในแบบดีทวิน ดังแสดงในรูปที่ 1 สำหรับผลของแรงที่ต่างกันเป็นผลจากอิทธิพลของกรรมวิธีทางความร้อน พบว่าอุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้แรงดึงกลับของสปริงลดลง เนื่องจากอุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C ส่งผลให้เกิดการลดลงของความเค้นภายในจากดิสโลเคชัน [12] เมื่อพิจารณาภายใต้การทดสอบที่อุณหภูมิ 65°C ดังรูปที่ 6 (b) พฤติกรรมของแรงดึงกลับสปริงเป็นเส้นตรง (linear) เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวสปริงมีเฟสเป็นออสเทนไนต์ 100% โดยมีโครงสร้างภายในเป็นคิวบิก ทำให้มีพฤติกรรมคล้ายกับโลหะทั่วไป แต่มีระยะยืดในช่วงอีลาสติกที่สูงมาก สำหรับผลของแรงที่ต่างกันจากอิทธิพลของอุณหภูมิตานั้นมีเหตุผลเช่นเดียวกับการทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C



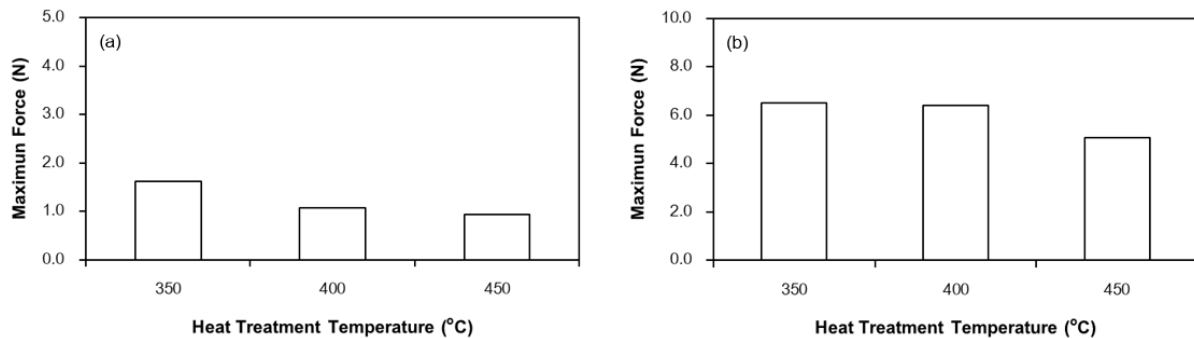
รูปที่ 6 แรงดึงกลับและระยะยืดของสปริงผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C

(a) ทดสอบที่อุณหภูมิ 25°C (b) ทดสอบที่อุณหภูมิ 65°C

การหาแรงดึงกลับสูงสุดของสปริงโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ได้จากการทดสอบแรงดึง จากรูปที่ 7 (a) แสดงให้เห็นแรงดึงกลับของสปริงที่อุณหภูมิ 25°C โดยผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C พบว่าแรงดึงกลับสูงสุดที่ระยะยืด 70 mm อยู่ในช่วง 1.614 N 1.073 N และ 0.935 N ตามลำดับ จากรูปที่ 7 (b) แสดงให้เห็นแรงดึงกลับของสปริงที่อุณหภูมิ 65°C โดยผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C พบว่าแรงดึงกลับสูงสุดที่ระยะยืด 70 mm อยู่ในช่วง 6.522 N 6.410 N และ 5.069 N ตามลำดับ ดังนั้นในการเลือกสปริงสำหรับประยุกต์ใช้เป็น

<http://jeet.siamtechu.net>

แอคชูเอเตอร์ของเครื่องจักรกลความร้อน ควรใช้สปริงที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350°C เนื่องจากมีแรงดึงกลับสูงที่สุดและสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ 50-80°C ตามที่ได้ออกแบบไว้



รูปที่ 7 แรงดึงกลับสูงสุดของสปริงที่ระยะยืด 70 mm ของสปริงที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350, 400 และ 450°C โดยทดสอบที่อุณหภูมิ 65°C

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาพบว่าอิทธิพลของอุณหภูมิอบมีผลต่ออุณหภูมิเปลี่ยนเฟสของสปริงโลหะผสมนิเกิล-ไทเทเนียม โดยตรง หากอุณหภูมิอบสูงขึ้นส่งผลให้อุณหภูมิในการทำงานของแอคชูเอเตอร์สูงขึ้นด้วย นั่นหมายความว่าหากนำแอคชูเอเตอร์ที่ทำงานในอุณหภูมิสูงมาใช้ในสภาวะอุณหภูมิต่ำจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องจักรกลความร้อนลดลง นอกจากนี้อิทธิพลของอุณหภูมิอบยังส่งผลต่อแรงดึงกลับของสปริงอีกด้วย ในการศึกษาพบว่าสปริงที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้เป็นแอคชูเอเตอร์ของเครื่องจักรกลความร้อน ควรใช้สปริงที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่อุณหภูมิ 350°C ซึ่งมีค่าแรงดึงกลับสูงสุดอยู่ที่ 6.533 N

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ วิทยาลัยเทคโนโลยีสยาม ที่มอบทุนเพื่อใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบพระคุณห้องปฏิบัติการสมาร์ตแลป ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล และหลักสูตรวิศวกรรมชีวภาพ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือและสถานที่ในการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Alan, L., Browne, et al. SMA HEAT ENGINES: ADVANCING FROM A SCIENTIFIC CURIOSITY TO A PRACTICAL REALITY, International Workshop SMART MATERIALS, STRUCTURES & NDT in AEROSPACE Conference, 2 - 4 November 2011, Montreal, Quebec, Canada, (2011)
- [2] กรมทรัพยากรธรณี. น้ำพุร้อนในประเทศไทย. สืบค้นเมื่อ 24 พฤศจิกายน 2562
<http://www.dmr.go.th/main.php?filename=hotthai>, (2019).
- [3] Sanket, M., Lahamge, et al., Study and Design of Nitinol Engine, International Research Journal of Engineering and Technology, 5(9), 500-1503, (2018)
- [4] TOBUSHI, H., et al., Basic Research on Shape Memory Alloy Heat Engine, JSME International Journal, 33, 263-268, (1990)
- [5] พัชรินทร์ เบอร์ด. วัสดุความรู้ SMART MATERIALS , ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ MTEC สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ หน้า 13-31, (ม.ป.ป.)

<http://jeet.siamtechu.net>

- [6] บัญชา ธนบุญสมบัติ. บทความวิชาการโลหะผสมจำรูป, ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ MTEC สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, หน้า 70-76, (2539)
- [7] ครรชนะ จรรย์ยานนท์. โลหะจำรูปในทางทันตกรรมจัดฟัน. วารสารเทคโนโลยีวัสดุ, 13, หน้า 29-32, (2541)
- [8] Santoro, M., Beshers, D.N., Nickel–titanium Alloys: Stress–related Temperature Range, American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 118 (6), 685-692, (2000)
- [9] Sadiq, H., Wong, M.B., et al., The effects of heat treatment on the recovery stresses of shape memory alloys, Smart Materials Structures, 19, 035021 (7pp), (2010)
- [10] Wu, M.H., Fabrication of Nitinol Materials and Components, International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, September 3-6, Kunming, China, 285-292, (2001)
- [11] Phukaoluan, A., Khantachawana, A., Kaewtatip, P., Premanond, V., Influences of Ironing ratio on Phase Transformations of Ni-Ti SMAs plate, The 2nd Thailand Metallurgy Conference, Oct 16-17, (2008)
- [12] Phukaoluan, A., Khantachawana, A., Kaewtatip, P., Dechkunakorn, S., Anuwongnukroh, N., Santiwongand, P., Kajornchaiyakul, J., Property Improvement of TiNi by Cu addition for Orthodontics Applications, Applied Mechanics and Materials, 87, 95-100, (2011)