

อิทธิพลของอัตราส่วนการรีดลดความหนาที่มีผลต่อสมบัติทางกล ของโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไททาเนียม

Influences of Ironing ratio on Mechanical Properties of Ni-Ti SMAs plate

อภินันท์ ภูเก้าล้วน¹ อนรรฆ ชันชะชวณะ² พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์³ และ วารุณี เปรมมานนท์⁴

^{1,2,3}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทร. 0-2470-9116 โทรสาร 0-2470-9111

E-mail: aphinan_kmutt@hotmail.com

⁴ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ประชาธิปไตย แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140 โทร. 0-2470-9209 โทรสาร 0-2470-9210

Aphinan Phuakoluan¹, Anak Khantachawana², Pongphan Khewtatip³, and Warunee Preamanon⁴

^{1,2,3}Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology

Bangkok 10140, Thailand Tel: 0-2470-9116 Fax: 0-2470-9111

E-mail: aphinan_kmutt@hotmail.com

⁴Department of Tool and Material Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology

Bangkok 10140, Thailand Tel: 0-2470-9209 Fax: 0-2470-9210

บทคัดย่อ

โลหะผสมจำรูปเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานต่าง ๆ มากมายหลายสาขา โดยเฉพาะอย่างยิ่งการใช้งานเป็น Microactuator ซึ่งมีขนาดเล็กกะทัดรัด มีการตอบสนองรวดเร็วและมีแรงในการคืนรูปสูง แต่เนื่องจากการผลิตชิ้นงานจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการขึ้นรูป ซึ่งปัจจุบันข้อมูลการขึ้นรูปโลหะชนิดนี้ยังไม่เป็นที่เผยแพร่ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการในการขึ้นรูปโดยการรีดลดความหนา (Ironing) และหาความสามารถในการขึ้นรูปโดยคำนึงถึงสมบัติการจำรูปของโลหะหลังกระบวนการรีดด้วย วัสดุที่ใช้คือเป็นแผ่นโลหะผสมจำรูป Ni-Ti ความหนาเริ่มต้น 0.25 mm และความกว้าง 7 mm ซึ่งแม่พิมพ์รีดลดความหนาทำจากทังสเตนคาร์ไบด์ มีมุมไหลเข้าข้างที่ 10° ระยะตายแลนด์ 1 mm สารหล่อลื่นใช้ Sodium stearate soap, ISO cut 570 A จากการทดลองพบว่าชิ้นงานก่อนทำการรีดลดความหนาจำเป็นต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อนที่ 600°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงในบรรยากาศอาร์กอน จึงจะมีสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปดึงขึ้นรูป และพบว่าอัตราส่วนการรีดลดความหนาที่สามารถรีดขึ้นรูปได้อยู่ที่ 9.2%, 13.7%, 15.8% และ 18.6%. โดยแรงที่ใช้ในการรีดลดความหนามีค่า 786N, 1095N, 1245N และ 1440N ตามลำดับ จากการทดสอบหาค่าความแข็งจุลภาคของโลหะผสมจำรูปพบว่าชิ้นงานที่ผ่านการรีดลดความหนาที่อัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นจะมีค่าความแข็งจุลภาคสูงขึ้นคือ 368Hv, 406Hv, 424Hv และ 467Hv ส่วนความเรียบผิวของชิ้นงานนั้นพบว่าที่อัตราส่วนการรีด

ความหนาสูงขึ้นจะมีความเรียบผิวที่ $0.5723\ \mu\text{m}$, $0.6815\ \mu\text{m}$, $0.7979\ \mu\text{m}$ และ $0.1875\ \mu\text{m}$ จากการทดสอบแรงดึงเพื่อหาสมบัติทางกลของวัสดุ พบว่าโลหะผสมจำรูปยังมีสมบัติทางกลและยังมีสมบัติการจำรูปอยู่ด้วย ซึ่งจะได้ทำการศึกษาความแตกต่างของสมบัติจำรูปที่มีผลต่ออัตราส่วนการรีดลดความหนาที่แตกต่างกันต่อไป

Abstract

Shape memory alloys (SMAS) are widely used in many fields, especially for utilizing as a microactuator which has compact sizes, rapidly response and high recovery force. In order to fabricate microactuator from SMA, metal forming process is very important. However, a very few of researches on forming of SMA were published. The present study aims to study on the ironing process which is a typical process for SMA and to investigate the effects of such process on mechanical behaviors and shape memory effects. The specimen is a Ti-Ni thin plate which thickness and width of 0.25mm and 7.0mm, respectively. The ironing die made of tungsten carbide with an approach angle of 10° and die land of 1mm. The lubricants used in the experiment are Sodium stearate soap and ISO cut 570 A. The results show that the suitable specimens for ironing process need heat-treatment at 600°C for 1 hour in argon atmosphere

before ironing and the most effective reduction ratio are 9.2%, 13.7%, 15.8% and 18.6% with Ironing force at 786N, 1095N, 1245N and 1440N, respectively. The hardness testing shows that the specimens have higher hardness at 368Hv, 406Hv, 424Hv and 467Hv. Also, the roughness after testing by the higher reduction ratio are $0.5723\text{ }\mu\text{m}$, $0.6815\text{ }\mu\text{m}$, $0.7979\text{ }\mu\text{m}$ and $0.1875\text{ }\mu\text{m}$. According to the tensile test in order to find mechanical property of the material, it is indicated that shape memory alloy have mechanical property and shape memory property as well which we can study the differences of shape memory effected the different ironing ratio.

Keywords: โลหะผสมจำรูป/ กระบวนการรีดลดความหนา/ อัตราส่วนการรีดลดความหนา/ ความเรียบผิว/ สมบัติทางกล

1. บทนำ

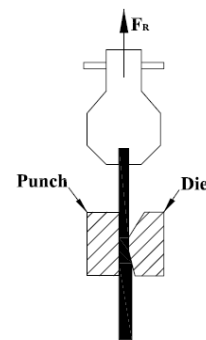
ปัจจุบันนี้ได้มีการคิดค้นระบบความฉลาด (Intelligent System) เพื่อนำมาใช้ทำประโยชน์ในงานต่าง ๆ มากมาย ระบบนี้เข้ามามีบทบาทกับชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น เช่น การซ่อมแซมตัวเองของสะพานเมื่อเกิดความเสียหาย ระบบนี้ประกอบขึ้นมาจากวัสดุชนิดหนึ่งเรียกว่า วัสดุฉลาด (Smart Material) ซึ่งมีอยู่หลายชนิดและมีอยู่ชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย คือ โลหะผสมจำรูป (Shape Memory Alloys, SMA) เนื่องจากโลหะผสมจำรูปเป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกลได้จึงสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องกำเนิดแรง (Actuator) โดยอาศัยการเปลี่ยนเฟสของโลหะ ในบรรดาโลหะผสมจำรูปทั้งหมด โลหะผสมในกลุ่มนิกเกิล-ไททาเนียม (NiTi Alloys) และกลุ่มทองแดง (Cu-based Alloys) นั้นได้รับความสนใจมากเป็นพิเศษเนื่องจากมีสมบัติที่เป็นประโยชน์หลายอย่าง โลหะผสมจำรูปในกลุ่มนิกเกิล-ไททาเนียมพบว่ามีความเสถียรทางกลสูงและมีจุดเด่นหลายประการ เช่น ปริมาณความเครียดที่สามารถกลับคืนได้ (Recoverable Strain) สูงถึง 8% ทนต่อการกัดกร่อนดีมาก อีกทั้งไม่เป็นพิษต่อเนื้อเยื่อของมนุษย์ ทำให้สามารถใช้ทำวัสดุและอุปกรณ์ในทางการแพทย์ได้หลายชนิด

อย่างไรก็ตามปัญหาสำคัญที่พบในการผลิตโลหะผสมจำรูป คือ การขึ้นรูปที่ทำได้ยาก เนื่องจากเป็นวัสดุที่มีความแข็งสูงและเปราะ โดยวิธีการขึ้นรูปที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบัน เช่น การรีดแผ่น การหลอมเหลว สปินนิ่ง การรีดลดความหนา ฯลฯ

ในงานวิจัยนี้ได้เห็นความสำคัญของอัตราส่วนการรีดลดความหนาของวัสดุโลหะผสมจำรูป โดยทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการรีดลดความหนา เพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาค่าสมบัติทางกลของโลหะผสมจำรูปซึ่งใช้วัสดุโลหะผสมจำรูปนิกเกิล-ไททาเนียมแบบแผ่น (NiTi SMA's Plate) เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานในการวิจัยค้นคว้าต่อไป

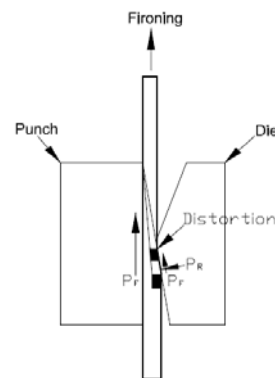
2. ทฤษฎีพื้นฐานของกระบวนการรีดลดความหนา

การขึ้นรูปโลหะที่มีลักษณะเป็นแผ่นสามารถทำได้หลายวิธี การรีดลดความหนาก็เป็นอีกวิธีหนึ่งที่น่าสนใจ เนื่องจากมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนและราคาถูก โดยกรรมวิธีการรีดลดความหนาจะทำให้อุณหภูมิห้อง ซึ่งแรงที่ใช้ในกระบวนการรีดลดความหนานั้นจะเป็นแรงที่เกิดจากการดึงที่ปลายของชิ้นงานด้านหนึ่ง (F_R) ผ่านระยะเคลื่อนที่ของแม่พิมพ์เพื่อรีดลดความหนาของชิ้นงานลง จึงทำให้เกิดแรงดึงขึ้นแต่ละมากหรือน้อยนั้นก็ขึ้นอยู่กับพื้นที่หน้าตัดและความหนาของชิ้นงาน หากมีการดึงรีดลดความหนาโดยที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนามากเกินไปจะทำให้แรงที่ใช้ในการดึงนั้นมีค่ามาก เมื่อมีการดึงรีดลดความหนาโดยที่มีการเปลี่ยนแปลงความหนาน้อยก็จะทำให้แรงที่ใช้ในการดึงน้อยลง แต่ในความเป็นจริงแล้วยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อแรงที่ใช้ในการดึง เช่น เมื่อมีการใช้สารหล่อลื่นในกระบวนการรีดลดความหนาจะทำให้มีผลต่อค่าความเสียดทานอาจจะช่วยให้ใช้แรงดึงน้อยลงได้เช่นกัน กระบวนการรีดลดความหนาแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการรีดลดความหนา

กรรมวิธีการรีดลดความหนากระทำโดยแรงจากชิ้นงานส่งผ่านไปสู่อบริเวณที่มีการเปลี่ยนรูป หลังจากนั้นจะส่งผ่านเป็นการดึงบนชิ้นงานและบางส่วนส่งผ่านเป็นแรงเสียดทาน ซึ่งการดึงเกิดขึ้นบนผิวด้านนอกของชิ้นงานและทำให้อัตราส่วนการรีดลดความหนา (Reduction ratio) มีค่ามากขึ้น กรรมวิธีการรีดลดความหนาประกอบไปด้วยแรง 3 แรงคือ แรงดึง P_D , แรงของความเสียดทาน P_F , แรงเฉือนของชิ้นงานที่เกิดจากรีดตันแดนท์ P_R [1] ลักษณะของแรงที่เกิดขึ้นในกระบวนการรีดลดความหนาแสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 แรงในกระบวนการรีดลดความหนา

ซึ่งแรงในการม้วนวิธีรีดลดความหนาจะเขียนได้ดังสมการที่ 1

$$F_{\text{Ironing}} = S_u A \ln \left(\frac{t_o}{t_f} \right) \quad (1)$$

โดยที่

F_{Ironing} = แรงในการม้วนวิธีรีดลดความหนา (N)
 A = พื้นที่หลังการรีดลดความหนา (m^2)
 t_o = ความหนาก่อนการรีดลดความหนา (mm)
 t_f = ความหนาหลังการรีดลดความหนา (mm)
 S_u = ความต้านทานแรงดึงสูงสุด (MPa)

อัตราส่วนการรีดลดความหนาของชิ้นงานเมื่อชิ้นงานถูกดึงผ่านเข้าไปในบริเวณทางเข้าของแม่พิมพ์ ซึ่งได้มีการออกแบบให้แม่พิมพ์มีรูปร่างแบบปากขยาย เพื่อให้ชิ้นงานได้มีการลดความหนาลงทีละน้อยไปเรื่อยๆ ผิวจะสัมผัสกับบริเวณมุมไหลเข้าทำให้ชิ้นงานลดความหนาจาก t_o เป็น t_f และจะเกิดการลดความหนามากที่สุดตรงบริเวณตายแลนต์ ซึ่งเป็นส่วนที่ทำหน้าที่กำหนดขนาดและผิวของชิ้นงาน

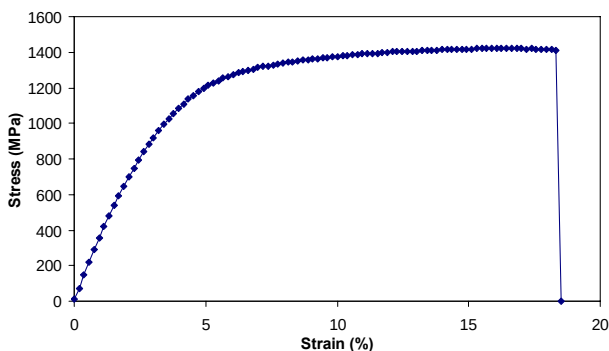
$$\% \text{Red.} = \left(\frac{t_o - t_f}{t_o} \right) \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ $\% \text{Red.}$ = อัตราส่วนการรีดลดความหนาของชิ้นงาน

3. ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

3.1 การเตรียมชิ้นงานในการทดลอง

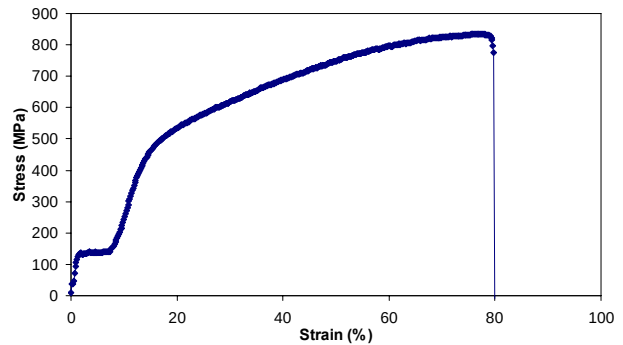
วัสดุที่ใช้เป็นโลหะผสมจำรูปมีส่วนผสมระหว่าง Ni-Ti ซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นความหนาเริ่มต้น 0.25 mm และความกว้าง 7 mm นำวัสดุทดสอบสมบัติทางกล โดยวิธีการทดสอบแรงดึงเพื่อตรวจสอบความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ ชิ้นงานทดสอบใช้ตามมาตรฐาน JIS [2] ความยาวชิ้นงานทดสอบ (gauge length) 100 mm ความเร็วในการดึง 10 mm/min ผลการทดสอบได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียด ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 กราฟความเค้น-ความเครียดของ Ni-Ti ก่อนอบ

พบว่าวัสดุขึ้นรูปได้ยาก สังเกตได้จากความเครียดที่มีค่าต่ำ เนื่องจากวัสดุได้ผ่านการขึ้นรูปเย็นมา จึงอบวัสดุภายในบรรยากาศ

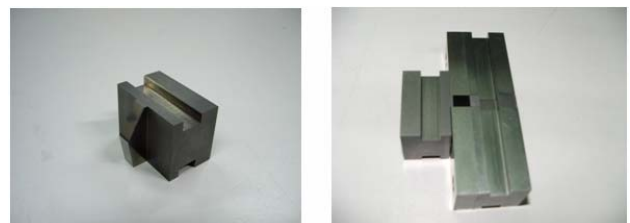
อาร์กอนเพื่อลดการเกิดออกไซด์ที่ผิวของวัสดุ โดยใช้อุณหภูมิในการอบที่ 600 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง [3] และเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ค่าการคืนตัวของขนาดวัสดุน้อย [4] จากนั้นทดสอบสมบัติทางกลเพื่อตรวจสอบความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุอีกครั้ง พบว่าเมื่อผ่านกรรมวิธีทางความร้อนจะเพิ่มความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุได้ โดยความเครียดสูงถึง 80% ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟความเค้น-ความเครียดของ Ti_{49.8} Ni_{50.2} (at%) หลังอบ

3.2 การออกแบบแม่พิมพ์และการรีดลดความหนา

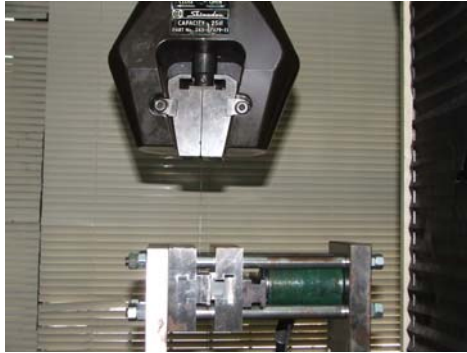
เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทางความร้อนแล้ว นำวัสดุที่ได้ไปผ่านกระบวนการรีดลดความหนา โดยออกแบบแม่พิมพ์รีดลดความหนา กำหนดมุมไหลเข้าคองที่ 10° [5] และมีตายแลนต์เท่ากับ 1 mm ใช้ทั้งสแตนเลสไบต์ในการทำแม่พิมพ์ [6] รูปแม่พิมพ์แสดงไว้ดังรูปที่ 5 สารหล่อลื่นที่ใช้ในกระบวนการรีดลดความหนาเป็น sodium stearate soap กับ ISO Cut 570 A [7] โดยระยะเคลือบแรนต์ของแม่พิมพ์ถูกกำหนดด้วยแผ่นชิมซึ่งทำจากสแตนเลส เพื่อให้ได้อัตราส่วนการรีดลดความหนาของชิ้นงานตามต้องการ และอุปกรณ์ในการรีดลดความหนาถูกแสดงไว้ในรูปที่ 6 โดยการรีดลดความหนาจะประกอบชุดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 25 ตัน แล้วหาสารหล่อลื่นที่แม่พิมพ์รีดลดความหนา นำวัสดุมาทำความสะอาด ทาสารหล่อลื่น หลังจากนั้นนำปลายด้านหนึ่งของวัสดุจับกับหัวของเครื่องทดสอบแรงดึง แล้วปั๊มไฮดรอลิกส์เพื่อกดอัดแม่พิมพ์ที่ความดัน 300 bar



(ก)

(ข)

รูปที่ 5(ก) ดायรีดลดความหนา 5(ข) ชุดอินเสิร์ต



รูปที่ 6 อุปกรณ์ในการรีดลดความหนา

รีดลดความหนาวัสดุโดยกำหนดความเร็วในการดึงที่ 30 mm/min ปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการรีดลดความหนา 4 ขนาด คือ 9.2%, 13.7%, 15.8% และ 18.6% ซึ่งสามารถวัดแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปของโลหะผสมจำรูปได้จากเครื่องทดสอบแรงดึงขนาด 25 ตัน แล้ววัดความหนาของวัสดุ

3.3 การทดสอบสมบัติทางกลของโลหะผสมจำรูป

ชิ้นงานที่ผ่านการรีดลดความหนาจะถูกนำไปอบที่อุณหภูมิ 470 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อให้โลหะผสมจำรูปเกิดการจำรูปในลักษณะตรง หลังจากนั้นทำการทดสอบสมบัติทางกลด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile testing machine) ขนาด 50 kN ที่อุณหภูมิห้องเพื่อดูพฤติกรรมของวัสดุ และทดสอบความแข็งจุลภาคด้วยเครื่องวัดความแข็งจุลภาค (Micro-Hardness testing machine) โดยการตัดชิ้นงานยาว 15 mm แล้วหล่อด้วยเรซิน แล้ววัดความแข็งบริเวณพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงาน 3 ตำแหน่ง

3.4 การทดสอบความเรียบผิวของโลหะผสมจำรูป

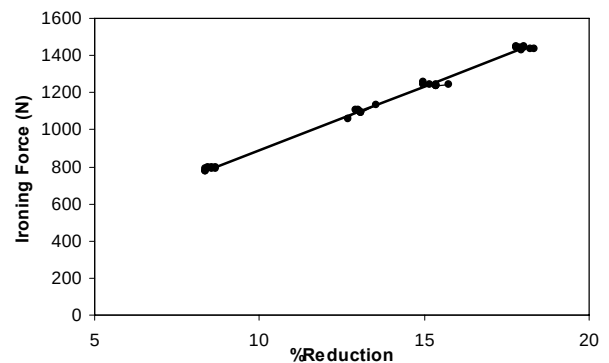
การวัดความเรียบผิวนั้นจะทำการวัดในทิศทางตั้งฉากกับแนวการรีด โดยใช้อุปกรณ์วัดความเรียบผิวแบบเข็มหยั่งหัวลาก (Stylus probe surface roughness measuring instrument) ซึ่งชิ้นงาน 1 ชิ้น จะทำการวัดความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) 3 ตำแหน่ง และบริเวณผิวที่ทำการวัดจะเป็นผิวที่สัมผัสกับด้าย

4. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

4.1 กรรมวิธีการรีดลดความหนา

จากการรีดลดความหนา ค่าแรงเฉลี่ยในการรีดลดความหนา (ironing force) แสดงผลไว้ในรูปที่ 7 ซึ่งเป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงรีดลดความหนากับอัตราส่วนการรีดลดความหนา โดยค่าแรงเฉลี่ยในการรีดลดความหนานี้ได้จากเครื่องทดสอบแรงดึง พบว่าเมื่อเพิ่ม %Reduction สูงขึ้นทำให้ต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูงขึ้น เช่น จาก 9.2%Red. ถึง 18.6%Red. ต้องการแรงมากขึ้นจาก 786N, 1095N, 1245N และ 1440N ตามลำดับ โดยลักษณะของการรีดลดความหนานั้นจะเป็นการขึ้นรูปโลหะผสมจำรูปในลักษณะการรีดเย็น (Cold Working) ซึ่งเมื่อปรับเปลี่ยนอัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณการเปลี่ยนรูปถาวรมากขึ้น และผลของการเปลี่ยนรูป

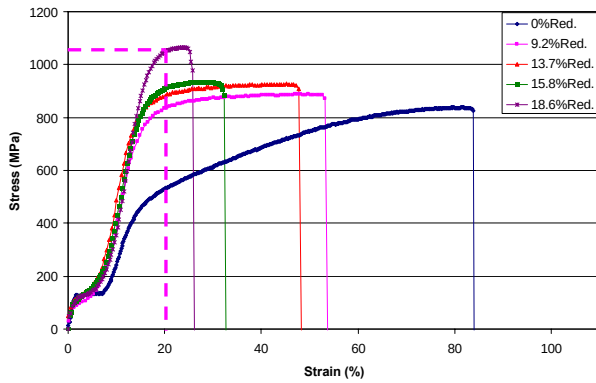
ถาวรจะทำให้เกิดความเครียดขึ้นภายในวัสดุ เป็นผลให้ต้องใช้แรงในการรีดลดความหนาสูงขึ้น และที่อัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นงานจะสัมผัสกับผิวของแม่พิมพ์มาก จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานสูง เกิดการเกาะยึดติดสูง (Adhesion) ดังนั้นเพื่อให้แรงเกิดการเคลื่อนที่สัมผัส จึงจำเป็นต้องมีแรงที่ใช้ในการรีดลดความหนาที่มากพอในการเอาชนะแรงยึดติด ประกอบกับแรงเฉือนของชิ้นงานที่เกิดจากรีดเย็น ดังนั้นมีมุมไหลเข้าคองที่ ดังนั้นอัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นทำให้แรงเฉือนที่ทำให้เอเลเมนต์ของวัสดุเกิดการบิดเบี้ยวมากขึ้น



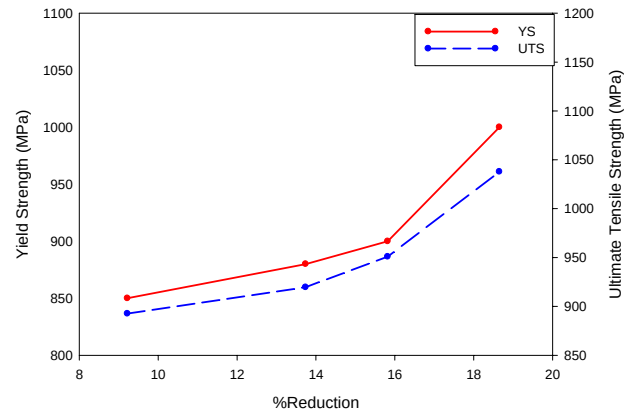
รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงรีดลดความหนากับอัตราส่วนรีดลดความหนา

4.2 การทดสอบสมบัติทางกลของวัสดุ

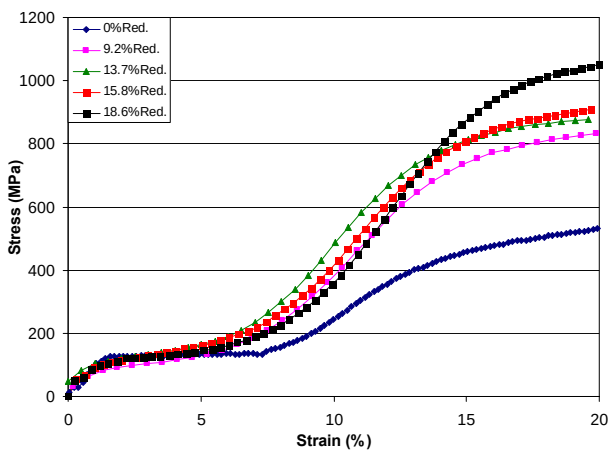
จากการทดสอบพบว่าสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติก (Elastic Deformation) 2 ช่วง ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติก ในช่วงแรกจะเป็นช่วงสั้นๆ ซึ่งเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ในโครงสร้างมาร์เทนไซต์ หรือเรียกว่า reorientation หลังจากนั้นเมื่อเพิ่มแรงดึงจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติกในช่วงที่ 2 ขึ้น ซึ่งช่วงนี้จะมีลักษณะเหมือนกับการเปลี่ยนรูปในช่วงอีลาสติกของวัสดุทั่วไป ถ้าใส่แรงเพิ่มขึ้นอีกความเค้นของวัสดุจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield Strength) ของวัสดุ ทำให้วัสดุเข้าสู่ช่วงการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก (Plastic Deformation) เมื่อเพิ่มแรงต่อไปความเค้นวัสดุจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด (Ultimate Tensile Strength) ของวัสดุ หลังจากนั้นวัสดุก็จะเกิดความเสียหาย ผลจากการทดลองพบว่าที่อัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นจะส่งผลให้ค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด สูงขึ้นดังรูปที่ 10 แต่ค่าความเครียดของวัสดุนั้นมีค่าลดลงตาม %Reduction เนื่องจากอิทธิพลของ Dislocation จากการรีดขึ้นรูปเย็นนั่นเอง



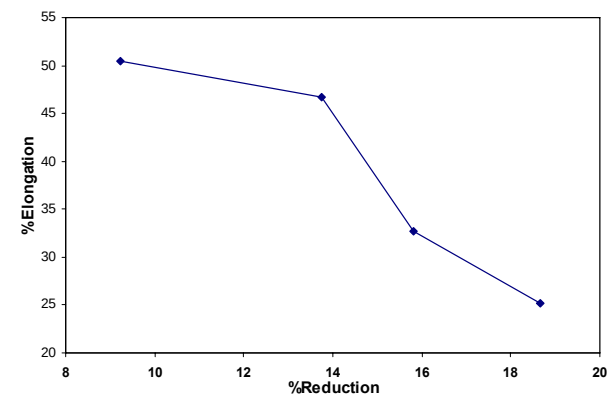
รูปที่ 8 กราฟความเค้น-ความเครียดของ Ni-Ti ในกรรมวิธีการรีดลดความหนา



รูปที่ 10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งแรงของวัสดุกับอัตราส่วนการรีดลดความหนา



รูปที่ 9 กราฟความเค้น-ความเครียดในส่วนขยายของรูปที่ 8



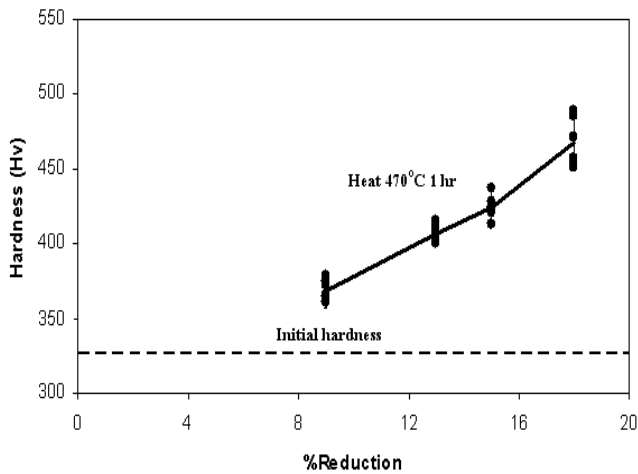
รูปที่ 11 กราฟเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับอัตราส่วนการรีดลดความหนา

โดยจากรูปที่ 9 สามารถสังเกตสมบัติการจำรูปอย่างชัดเจนได้จากกราฟในช่วงอีลาสติกทั้ง 2 ช่วง ในช่วงแรกเกิดจากกลไกการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างแบบทวิน (Twinning) เป็นกระบวนการทำให้เกิดการจัดเรียงตัวในทิศทางใหม่ให้มีทิศทางเดียวกัน ทำให้สามารถกลับคืนสู่รูปร่างเดิมโดยที่แขนของอะตอมจะอยู่ติดกับตำแหน่งเดิม การเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันนี้จะเองจะทำให้รูปร่างของวัสดุเปลี่ยนไป โดยในการมองเห็นเสมือนว่าวัตถุได้เปลี่ยนไปอย่างถาวร แต่ในความเป็นจริงไม่ได้เป็นกลไกของการเลื่อนไถล (Slip Deformation) แต่อย่างใด การพิจารณาสมบัติการจำรูปพบว่าอัตราส่วนการรีดลดความหนา มีผลต่อความเครียดของวัสดุน้อยมาก นั่นก็คือ %Strain ในช่วงอีลาสติกของทุกอัตราส่วนการรีดลดความหนาก่อนจะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกจะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน แต่จะส่งผลต่อความเค้นของวัสดุ โดยที่อัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นจะทำให้ความเค้นสูงขึ้นด้วย เนื่องจากอัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นส่งผลให้เกรนมีความละเอียดและจำนวนของ dislocation เพิ่มขึ้น จึงเหมาะกับการนำไปประยุกต์ใช้เป็นแอคชูเอเตอร์ที่ต้องการแรงในปริมาณที่สูง เช่น ตัวเปิดวาล์วในหม้อต้มกาแฟ เป็นต้น

เมื่อพิจารณารูปที่ 10 และรูปที่ 11 พบว่าที่อัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์การยืดตัวลดลง สำหรับค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก และค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากวัสดุได้ผ่านการขึ้นรูปเย็นมา โครงสร้างจุลภาคนั้นจะประกอบไปด้วยเกรนที่ถูกขึ้นรูปมาและ Dislocation ที่มีความหนาแน่นสูง ผลของเกรนที่ถูกขึ้นรูปเย็นมาและ Dislocation นั้น จะทำให้กลไกของการเปลี่ยนรูปถาวร (Slip deformation) เกิดขึ้นได้ยาก กล่าวคือทั้งผลของการขึ้นรูปเย็นและ Dislocation จะทำหน้าที่ขัดขวางการเคลื่อนที่ของเกรน ผลที่ได้ก็คือ วัสดุจะมีค่าความแข็งแรง ณ จุดคราก และ ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่สูง ในขณะที่ %Elongation ต่ำลง

4.3 การทดสอบความแข็งจุลภาค (Micro-Hardness Test)

นำโลหะผสมจำรูปที่ผ่านกรรมวิธีทางความร้อนมาทดสอบความแข็งจุลภาค โดยผลที่ได้จากการทดลองจะแสดงค่าอัตราส่วนการรีดลดความหนากับความแข็งจุลภาคสูงขึ้นคือ 368Hv, 406Hv, 424Hv และ 467Hv ดังรูปที่ 12

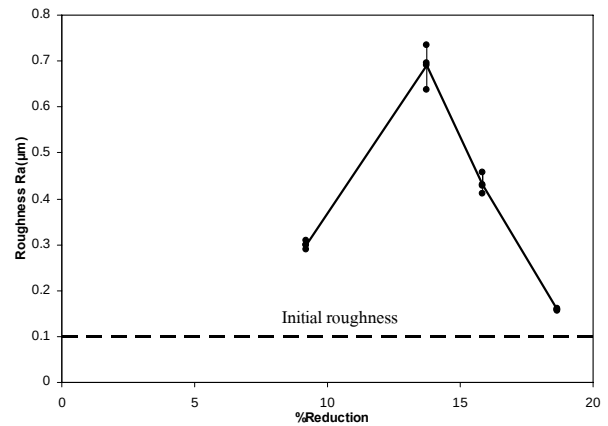


รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งจุลภาคกับ อัตราส่วนการรีดลดความหนา

ซึ่งพิจารณาชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการรีดลดความหนา จะทำให้เกรนของชิ้นงานมีความละเอียดมากขึ้นและปริมาณของ Dislocation เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้จะทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการรีดขึ้นรูปเย็น (Cold Working) มีความเค้นภายในเพิ่มขึ้น เป็นผลให้ชิ้นงานมีความแข็งแรงมากขึ้น ดังนั้นที่อัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นจะทำให้ค่าความแข็งจุลภาคของชิ้นงานสูงขึ้นด้วย

4.4 การทดสอบความเรียบผิว (Roughness, Ra)

จากผลการทดลองดังรูปที่ 13 โดยการเปรียบเทียบจะนำผลของความเรียบผิวชิ้นงานก่อนผ่านการรีดลดความหนากับชิ้นงานหลังจากผ่านการรีดลดความหนา ค่าความเรียบผิวเฉลี่ย (Ra) จะแตกต่างกัน ดังนี้คือ อัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงขึ้นจะมีความเรียบผิวที่ 0.5723 μm , 0.6815 μm , 0.7979 μm และ 0.1875 μm ซึ่งที่ 13.7% Red. จะมีค่าสูงสุด และที่ 18.6%Red. จะมีค่าต่ำสุด ทั้งนี้เป็นผลจากวัสดุก่อนจะทำการรีดลดความหนานั้นจำเป็นต้องผ่านกรรมวิธีทางความร้อน จึงทำให้เกิดออกไซด์ขึ้นที่ผิวชิ้นงาน ซึ่งความเรียบผิวของชิ้นงานจะเกิดจากการถ่ายผิวของแม่พิมพ์ไปยังผิวชิ้นงาน จากการทดลองพบว่าชิ้นงานที่มีความเรียบผิวต่ำ(หยาบ) เป็นเพราะสารหล่อลื่นที่ใช้มีลักษณะเป็นผงจึงเกิดการหนีตัวของสารหล่อลื่นทำให้เกิดการเชื่อมเย็นขึ้น แต่อย่างไรก็ตามจะมีบางส่วนที่มีสารหล่อลื่นปกคลุมและมีบางส่วนเกิดการหนีตัวของสารหล่อลื่น การสัมผัสกันโดยตรงนี้จะทำให้เกิดการโก่งการถ่ายผิวได้ดี และที่ 13.7%Red. แรงจากความเสียดทานไม่สามารถทำลายผิวออกไซด์ได้บางส่วน ส่งผลให้ชิ้นงานไม่สัมผัสกับแม่พิมพ์บางส่วนทำให้การถ่ายผิวได้ไม่ดี ความเรียบผิวจึงต่ำ(หยาบ)ลงอย่างเห็นได้ชัด ในส่วนที่ 9.2%Red. นั้น เนื่องจากแรงเสียดทานต่ำและอัตราส่วนการรีดลดความหนาต่ำจึงไม่ทำให้เกิดการเชื่อมเย็นเพราะมีออกไซด์ที่ผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเรียบผิวกับอัตราส่วนการรีดลดความหนา

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองรีดลดความหนาโลหะผสมจำรูปเพื่อศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนการรีดลดความหนาที่มีผลต่อสมบัติทางกลของโลหะผสมจำรูปนิกเกิล – ไททาเนียม โดยการทดลองได้เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการรีดลดความหนา คือ 9.2%, 13.7%, 15.8% และ 18.6% ที่มุมตายคงที่ที่ 10° จากผลการทดลองพบว่าอัตราส่วนการรีดลดความหนามีอิทธิพลต่อสมบัติของโลหะผสมจำรูป โดยเมื่ออัตราส่วนการรีดลดความหนาสูงจะทำให้ความเค้นในช่วงอีลาสติกสูงขึ้น แต่ความเครียดจะมีค่าใกล้เคียงกัน ในส่วนของสมบัติทางกลหลังจากการรีดลดความหนาพบว่าเมื่ออัตราส่วนการรีดลดความหนาเพิ่มขึ้นเป็นผลให้เกรนมีความละเอียด และจำนวนของ Dislocation เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ทั้งในกรณีค่าความแข็งแรง ค่าความเค้น ณ จุดคราก ค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดเพิ่มขึ้น และสมบัติการจำรูปของวัสดุพบว่าเป็นไปตามทฤษฎี คือ จะมีช่วงอีลาสติก 2 ช่วง จึงสรุปได้ว่าอัตราส่วนการรีดลดความหนามีอิทธิพลต่อสมบัติทางกลของโลหะผสมจำรูป เพื่อให้ทราบถึงพฤติกรรมของโลหะผสมจำรูปชัดเจนมากยิ่งขึ้น ควรมีการศึกษาลักษณะความเป็นแอคซูเอเตอร์ของอัตราส่วนการรีดลดความหนาต่างๆ ซึ่งทางผู้เขียนเห็นว่าควรนำไปเป็นงานวิจัยเพิ่มเติมในภายหลังต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย สำหรับทุนวิจัยบางส่วน และคณะอาจารย์ทุกท่านที่ให้คำปรึกษาแนะนำจนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Blazynski , T.Z. , 1999, "Deep Drawing and Stretch Forming", Metal Forming Tool Profiles and Flow" , Unwin Brothers Ltd., London, pp.229-251
- [2] JIS HANDBOOK , 2005, "Ferrous Materials & Metallurgy I", pp.372
- [3] อภิวัฒน์ มิ่งทรงศนีย์ และ อรรถพร ทองเกษม, 2548 ,“อิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของโลหะผสมจำรูป” ปรินญา นีพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [4] กอบกิจ ถาวรสุและคณะ “กรรมวิธีดึงลวดโลหะผสมจำรูป” ปรินญา นีพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547
- [5] รุจิภาส บงคลวรกิจและคณะ, 2546 ,“การศึกษาอิทธิพลของตัวแปรในกรรมวิธีรีดความหนาแน่นที่มีผลต่อขนาดเอียงของถ้วยเหล็กกล้าไร้สนิม”ปรินญา นีพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- [6] S.K. Wu, et al., 1996 ,“A study on the wire drawing of TiNi shape memory alloys” , Elsevier Science S.A., 1996, pp. 113-119
- [7] Ming H. Wu ,2001 ,“Fabrication of Nitinol Material and Component”, Proceedings of the International Conference on Shape Memory and Superelastic Technologies, Kunming , China , pp.1-8