

การวิเคราะห์ข้อบกพร่องในลักษณะการปริแตกที่เกิดขึ้นในแกนกลางของเส้นลวดขณะดึง เส้นลวดผ่านตายโดยวิธีทดลอง

Analysis of the Central Bursting Defects of the Wire during Drawing by Experiment

สมชัย นรเศรษฐโสภณ¹ ปิ่น ประมาพันธ์²

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ถ.ฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทร 66(2)326-9987, โทรสาร 66(2)326-9053, E-Mail: s3062031@kmitl.ac.th

Somchai Norasethasophon, Pin Pramaphant

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Chalongkung Road Ladkrabang Bangkok Thailand 10520

Tel: (662)326-9987, Fax: (662)326-9053, E-Mail: s3062031@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการวิเคราะห์ ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นที่แกนกลางของลวดทองแดงในลักษณะการปริแตกเป็นรอยร้าวในขณะที่การดึงขึ้นรูปเส้นลวดผ่านตาย วัสดุที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้ใช้ลวดทองแดงที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 20 มิลลิเมตร ใช้ตายที่มีมุมตาย 2 ขนาด คือ มุมตาย 45 องศา ดึงลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลง 25 เปอร์เซ็นต์ และมุมตาย 30 องศา ดึงลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลง 15 เปอร์เซ็นต์ ได้ผลการทดลองจากการดึงเส้นลวดทองแดงผ่านตายหลายๆเที่ยวในอุณหภูมิห้อง จนกระทั่งเกิดการปริแตกภายในแกนกลางของเส้นลวด กรณีมุมตาย 30 องศา การปริแตกเกิดขึ้นในการดึงเที่ยวที่ 10 และสำหรับมุมตาย 45 องศา การปริแตกเกิดขึ้นในการดึงเที่ยวที่ 6 ขนาดมุมตายที่โตขึ้นมีผลทำให้เกิดการปริแตกที่แกนกลางของเส้นลวดได้ง่ายขึ้น เราพบว่าแรงดึงลวดเพื่อขึ้นรูปผ่านตายลดลงในขณะที่ความเค้นดึงขึ้นรูปเพิ่มขึ้นตามจำนวนเที่ยวของการดึงที่เพิ่มขึ้น

Abstract

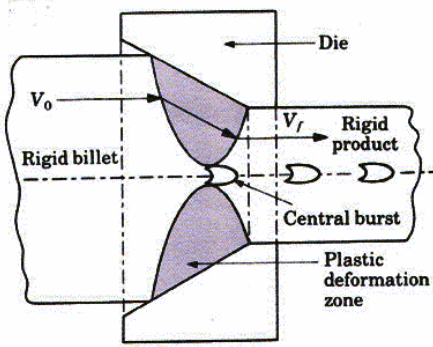
This research presents the analysis results of the bursting defect of the center axis of the copper wire during multi-pass drawing through a die. The material used in this experiment is copper wire with a diameter of 20 mm. Two sizes of die angle, 45 degree with 25% reduction in the cross-section area and 30 degree with 15 % reaction in the cross-section area, were used in this research. The experimental results were conducted by multi-pass drawing a copper wire through the die at the room temperature until the center burst of the copper wire was obtained. The central burst occurred in 10th pass of drawing for 30

degrees die angle and 6th pass of drawing for 45 degrees die angle. Increasing of die angle the central burst was easier occurred. We found that the drawing force decrease while drawing stress increase as drawing pass number increase.

1. บทนำ

ชาวอียิปต์โบราณอาจเป็นชนชาติที่ริเริ่มทำการพัฒนาการดึงขึ้นรูปโลหะขึ้นเป็นชนชาติแรก เช่น การดึงเส้นโลหะเพื่อทำเส้นใยทองคำแล้วนำไปถักทอร่วมกับเส้นใยอื่น ๆ เพื่อให้ได้มาซึ่ง "ผ้าทองคำ" มีหลักฐานจากภาพเขียนในพีระมิด Tuthmosis III ก่อน ปี ค.ศ. 1460 และพีระมิด Tutankhamun และจากสถานที่อื่น ๆ ที่แสดงให้เห็นได้ว่าชาวอียิปต์ได้ใช้วิธีตีก้อนทองคำขึ้นรูปให้เป็นแผ่นหรือเป็นชิ้นบาง ๆ แล้วนำไปดึงผ่านช่องในแม่พิมพ์หิน ซึ่งเป็นที่เชื่อกันว่าแม่พิมพ์ต่างๆนี้ทำจากการขัดของในก้อนหินที่แข็งมาก รูปโครงสร้างของแนวการเปลี่ยนรูปจึงคล้ายกับท่อเวเนจูรี ในการดึงขึ้นรูปลวดทองคำนั้นจะตีส่วนปลายของแท่งทองคำให้เรียวแหลมแล้วสอดเข้าไปในช่องแม่พิมพ์หิน โดยจะหล่อลื่นด้วยเทียนไข แล้วจับยึดปลายที่โผล่ออกมาจากแม่พิมพ์หินไว้ ต่อจากนั้นจึงทำการดึงขึ้นรูป ดังนั้น จึงทำให้เกิดลวดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางโตสม่ำเสมอทั้งเส้น ในศตวรรษที่ 5 ชาวเปอร์เซียสามารถดึงลวดทองแดงลดขนาดลงได้จนถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.022 นิ้ว (0.55 มิลลิเมตร) โดยดึงผ่านแผ่นเหล็ก การดึงเส้นลวดผ่านตายหลายเที่ยว (ครั้ง) อาจทำให้เกิดข้อบกพร่องในลักษณะการปริแตกขึ้นในแกนกลางของเส้นลวดได้ ซึ่งมีสาเหตุหลายสาเหตุด้วยกัน เช่น ผลจากกระบวนการลดพื้นที่หน้าตัด ขนาดของมุมตาย ตลอดจนปัจจัยอื่นๆ ในกระบวนการผลิต นอกจากนั้นยังมีผลทำให้เกิดความเค้นขณะดึงขึ้นรูปสูงขึ้นด้วย ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายต่อกระบวนการผลิต สูญเสียเวลาในกระบวนการผลิตมากขึ้นจากความเสียหายที่เกิดขึ้น

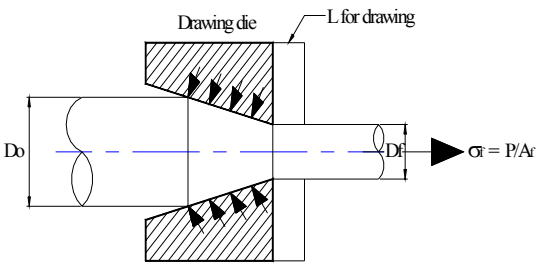
แก่เส้นลวด ต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้น เพื่อให้ได้คุณภาพของชิ้นงานที่ดี และเพื่อลดการสูญเสียในกระบวนการผลิต ผู้วิจัยได้ศึกษากรณีดังกล่าว โดยใช้ลวดทองแดงดึงผ่านคายนหลายๆ เที้ยว (ครั้ง) จนเกิดรอยปริแตกในแกน กลางของเส้นลวดที่เรียกว่า 'Central burst' ที่เรียกเช่นนี้ เพราะเกิดการแตกร้าวขึ้นที่พื้นที่หน้าตัดที่แกนกลางของเส้นลวด บางครั้งเรียกว่า 'Chevron crack' หรือ รอยแตกร้าวรูปบั้งนายสิบ



รูปที่ 1 แสดงการเกิดรอยปริแตกที่แกนกลางเส้นลวด

2. ทฤษฎี

สิ่งสำคัญอย่างยิ่งสิ่งหนึ่งในกระบวนการดึงขึ้นรูปโลหะที่จะต้องพิจารณาอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้เลยก็คือ ความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเส้นลวดขณะดึงขึ้นรูปโลหะ เพราะความเค้นดึงในเส้นลวดจะเป็นตัวแปรสำคัญที่จะมีผลต่อการขาดของเส้นลวดขณะดึงขึ้นรูป การออกแบบคายนที่ตีจะช่วยให้สามารถลดค่าความเค้นดึงนี้ลงได้



รูปที่ 2 แสดงลักษณะของเส้นลวดที่ไหลผ่านคายน ความเค้นดึง และความเค้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นลวดกับคายน

ความเค้นที่เกิดขึ้นในเส้นลวดขณะไหลผ่านคายนจะเป็นความเค้นที่มีคุณสมบัติอยู่ในช่วงพลาสติกของวัสดุที่ใช้ทำลวดนั้นๆ การ Deform ของเส้นลวดก็เกิดการ Deform อยู่ในช่วงพลาสติกเช่นกัน คือเป็นการ Deform อย่างถาวร ลักษณะของเส้นลวดที่ไหลผ่านคายน ความเค้นดึง และความเค้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นลวดกับคายน จะเป็นดังแสดงในรูปที่ 1 จากหลักสภาวะการแปรรูปของความเค้น การดึงลวดผ่านคายนรูปทรงกรวย ไม่คิดการสูญเสียแรงเฉือนภายใน และแรงเสียดทาน

ภายนอก ดังนั้นสมการความเค้นที่เกิดจากการดึงลดขนาด[1-4]ในกรณีที่เป็นการ Deform แบบโฮโมจีเนียส จึงเขียนได้เป็น

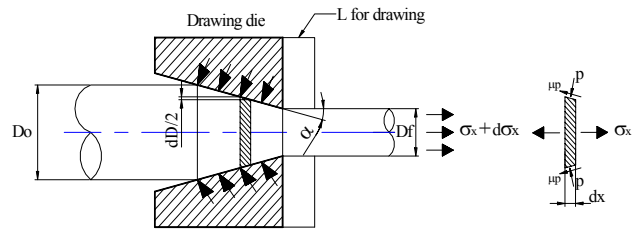
$$\sigma = \bar{\sigma} \ln \frac{A_0}{A_f} = \bar{\sigma} \ln \left(\frac{1}{1-r} \right) \dots (1)$$

เมื่อ σ = ความเค้น
 $\bar{\sigma}$ = ความเค้นไหลเฉลี่ย (Mean Flow Stress)
 A_0 = พื้นที่หน้าตัดด้านทางเข้าคายน
 A_f = พื้นที่หน้าตัดด้านทางออกของคายน
 r = สัดส่วนการลดพื้นที่หน้าตัด $(A_0 - A_f) / A_0$

พิจารณาค่าแก้สำหรับแรงเสียดทานภายใน และแรงเฉือนภายนอกที่เกิดการสูญเสีย จากสมการข้างบนสามารถเขียนได้ใหม่ ดังนี้

$$\sigma = C_f(\alpha) C_i(\alpha, r) \bar{\sigma} \ln \frac{A_0}{A_f} \dots (2)$$

$$\sigma = C_f(\alpha) C_i(\alpha, r) \bar{\sigma} \ln \frac{1}{1-r} \dots (3)$$



รูปที่ 3 แสดงองค์ประกอบของความเค้นที่เกิดขึ้นบนเส้นลวดในช่วงความยาว dx ขณะเส้นลวดถูกดึงผ่านคายน

จากรูปที่ 3 สามารถเขียนสมการผลรวมของแรงในแนวแกน x ได้ คือ

$$\sum F = (\sigma_x + d\sigma_x) \frac{\pi}{4} (D + dD)^2 - \sigma_x \frac{\pi}{4} D^2 \dots (4)$$

$$+ p \left(\pi D \cdot \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \sin \alpha + \mu p \left(\pi D \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha = 0$$

เมื่อ D เป็นเส้นผ่านศูนย์กลาง และ α เป็นมุมครึ่งหนึ่งของคายน ดังแสดงในรูปที่ 2

ถ้าไม่คิดผลของค่าที่มีขนาดเล็ก และจะง่ายขึ้น โดยที่

$$D d\sigma_x + 2[\sigma_x + p(1 + \mu \cot \alpha) dD] = 0 \dots (5)$$

$$2rdr \sigma_x + r^2 d\sigma_x + 2prdr + \frac{2rdr \tau}{\tan \alpha} = 0 \quad \dots(6)$$

ในทำนองเดียวกัน พิจารณาผลรวมของแรงในแนวรัศมี จะได้ความเค้นในแนวรัศมี หรือความเค้นที่ทำให้ตายแตก (Die-Breaking Stress) คือ

$$\sum F_r = \sigma_r (\pi D dx) + \left(\pi D \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \cos \alpha - \mu p \left(\pi D \frac{dx}{\cos \alpha} \right) \sin \alpha = 0 \quad \dots(7)$$

และ

$$\sigma_r = -p(1 - \mu \tan \alpha) \quad \dots(8)$$

ในกรณีที่มุมมีขนาดเล็ก $\mu \tan \alpha$ ไม่จำเป็นต้องนำมาคิดได้ และ $\sigma_r = -p$ ให้ $B = \mu \cot \alpha$ ทำการอินทิเกรตผลลัพธ์สมการอนุพันธ์และจัดรูปสมการใหม่ให้ง่ายขึ้น ได้สมการความเค้นดึงเฉลี่ยเป็น

$$\frac{\sigma}{\bar{\sigma}} = \left[1 + \frac{1}{B} \right] \left\{ 1 - \left[\frac{D_f}{D_0} \right]^{2B} \right\} \quad \dots(9)$$

$$B = \mu \cot \alpha$$

D_0, D_f = เส้นผ่าศูนย์กลางก่อนและหลังการดึง

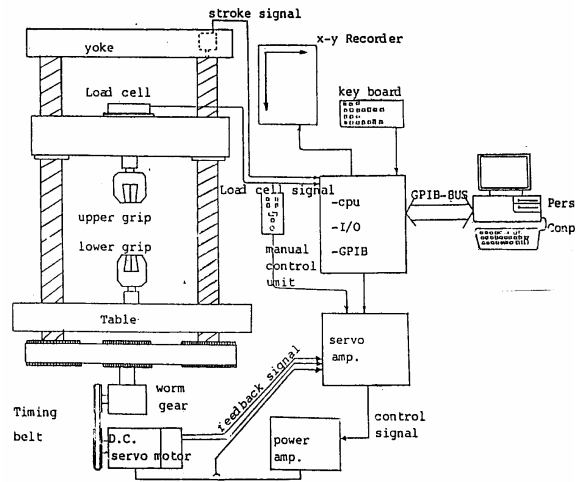
α = มุมครึ่งตาย

μ = สัมประสิทธิ์ความเสียดทาน

$\bar{\sigma}$ = ความเค้นไหลเฉลี่ย (Mean Flow Stress)

3. เครื่องมือ และอุปกรณ์ทดลอง

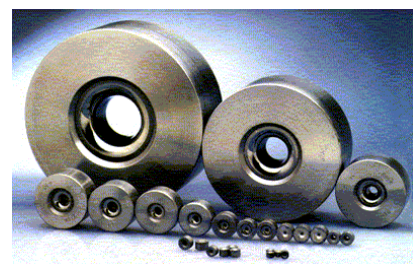
1. เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ประกอบการทดลอง ประกอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ระบบขับเคลื่อน วัตถุประสงค์ และบันทึกผลควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ แรงดึงสูงสุด 10 ตัน มีไดอะแกรมดังแสดงในรูปที่ 5
2. ชุดหัวจับตายซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาเป็นพิเศษเพื่อใช้จับยึดตายขณะทำการทดลอง มี 2 ขนาด คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 70 มิลลิเมตร และ 100 มิลลิเมตร
3. ชุดของตัวตายที่มีขนาดของมุมเอียงต่าง ๆ กันได้แก่ขนาดมุมตาย 30° และ 45° (หรือมุมครึ่งตาย เท่ากับ 15° และ 22.5°)
4. ลวดหรือชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบใช้กับมุมครึ่งตายขนาดต่าง ๆ กัน โดยใช้วัสดุทองแดงลดขนาดจากเส้นผ่านศูนย์กลางเริ่มต้น 20 มิลลิเมตร โดยลดขนาดคิดเป็น 15 % และ 25 % ของขนาดเดิม
5. เครื่อง CNC Wire Cut สำหรับผ่าเส้นลวดทองแดงเพื่อศึกษารอยปริแตกที่แกนกลาง



รูปที่ 4 แสดงไดอะแกรมการทำงานของเครื่องทดลอง



รูปที่ 5 ภาพด้านหน้าของเครื่องทดลองพร้อมอุปกรณ์คอมพิวเตอร์



รูปที่ 6 ตาย (Dies) ขนาดต่างๆ



รูปที่ 7 เส้นลวดทองแดงที่ใช้ในการทดลอง

4. ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล

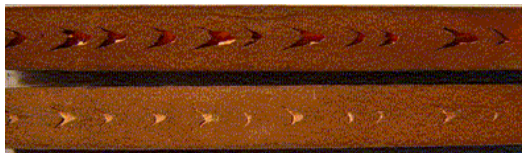
ในการทดลองนี้ผู้ทำวิจัยเลือกใช้วัสดุทดลองเป็นทองแดง ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงอยู่ใน ตารางที่ 1 ชั้นทดสอบที่ใช้ในการทดลองมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ใช้ตาย 2 ชุดๆละ 12 ชั้น และ 8 ชั้น ตายชุดแรกมีมุมตาย 45 องศา หรือครึ่งมุมตายเท่ากับ 22.5 องศา ดึงลดขนาดพื้นที่หน้าตัดให้เล็กลงไปเรื่อยๆครั้งละ 25 เปอร์เซ็นต์ 12 เที้ยวหรือครึ่งของการดึงขึ้นรูป และชุดที่ 2 มีมุมตาย 30 องศา หรือครึ่งมุมตายเท่ากับ 15 องศา ดึงลดขนาดพื้นที่หน้าตัดลงเรื่อยๆครั้งละ 15 เปอร์เซ็นต์ 8 เที้ยวหรือครึ่งของการดึงขึ้นรูป ทำการดึงลดผ่านตายด้วยเครื่อง UTM แล้วบันทึกค่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงที่ใช้ดึงกับระยะทางที่ดึงผ่านตายไว้ แล้วผ่าดูรอยปริแตกภายในเส้นลวดด้วยเครื่อง Wire Cut

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุ และเงื่อนไขที่ใช้ในการดึงลวดด้วยวิธีทดลอง

	ทองแดง (ลวดทดลอง)
Young's modulus; E (MPa)	120,000
Yield stress; σ_y (MPa)	150
Poisson's ratio; ν	0.3
Die half angle; α (Deg)	15 และ 22.5
Reduction per pass; Re/P (%)	15 และ 25
Coefficient of friction; μ	0.05

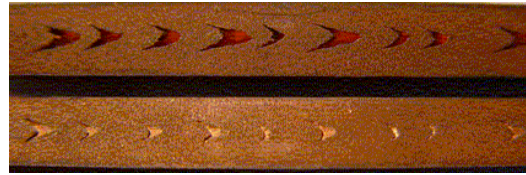
4.1 รอยปริแตก และการขยายตัวของรอยปริแตก

กรณีใช้ตายซึ่งมีมุมครึ่งตาย 15 องศา พบว่าเกิดรอยปริแตกที่แกนกลางของเส้นลวดเมื่อดึงขึ้นรูปลวดทองแดงถึงเที้ยวที่ 10 และเมื่อผ่าเส้นลวดทองแดงออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดง พบรอยปริแตกรูปร่างคล้ายปีกปรากฏที่แกนกลางของเส้นลวด ส่วนของปลายแหลมที่อยู่ตรงแกนกลางลวดทองแดงของรอยปริแตกรูปร่างคล้ายปีกจะชี้ไปในทิศทางที่ออกแรงดึงลวด เมื่อผ่านการดึงถึงเที้ยวที่ 11 พบว่ามีรอยปริแตกเกิดขึ้นเป็นระยะๆเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงภาพเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 11 เที้ยว (ครึ่ง) มุมครึ่งตาย 15 องศา

เมื่อผ่านการดึงถึงเที้ยวที่ 12 แล้วผ่าเส้นลวดทองแดงออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดง พบว่ารอยปริแตกได้ขยายโตขึ้น แต่จำนวนรอยปริแตกคงเดิม ดังแสดงในรูปที่ 9



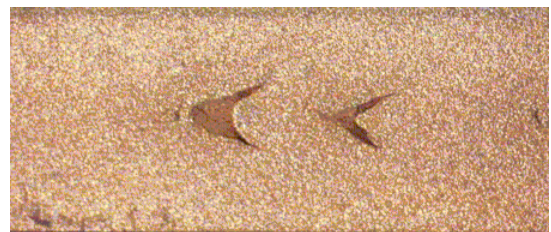
รูปที่ 9 แสดงภาพเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 12 เที้ยว (ครึ่ง) มุมครึ่งตาย 15 องศา

สำหรับกรณีที่ใช้ตายซึ่งมีมุมครึ่งตาย 22.5 องศา พบว่าเกิดรอยปริแตกที่แกนกลางของเส้นลวดเมื่อดึงขึ้นรูปลวดทองแดงถึงเที้ยวที่ 6 และเมื่อผ่าเส้นลวดทองแดงออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดง พบรอยปริแตกรูปร่างคล้ายปีกปรากฏที่แกนกลางของเส้นลวดทองแดงในทำนองเดียวกันกับกรณีใช้ตายที่มีมุมครึ่งตาย 15 องศา รอยปริแตกได้ขยายใหญ่ขึ้นในเที้ยวที่ 8 ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 แสดงภาพเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 8 เที้ยว (ครึ่ง) มุมครึ่งตาย 22.5 องศา

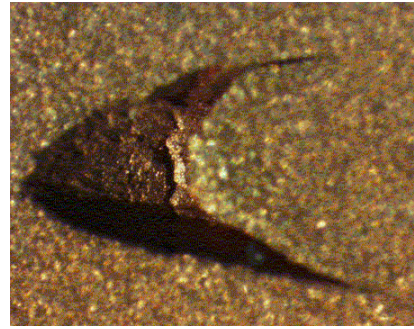
รูปที่ 11, 12 และ 13 เป็นภาพขยาย 7 เท่าของเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 10, 11 และ 12 เที้ยว (ครึ่ง) ตามลำดับ มุมครึ่งตาย 15 องศา



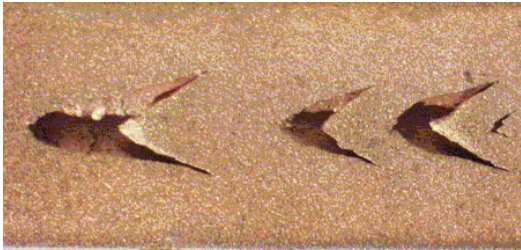
รูปที่ 11 ภาพขยาย 7 เท่าของเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 10 เที้ยว (ครึ่ง) มุมครึ่งตาย 15 องศา



รูปที่ 12 ภาพขยาย 7 เท่าของเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 11 เที้ยว (ครั้ง) มุมครึ่งตาย 15 องศา



รูปที่ 15 ภาพขยาย 20 เท่าของเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 12 เที้ยว (ครั้ง) มุมครึ่งตาย 15 องศา



รูปที่ 13 ภาพขยาย 7 เท่าของเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 12 เที้ยว (ครั้ง) มุมครึ่งตาย 15 องศา

รูปที่ 14 และ 15 เป็นภาพขยาย 20 เท่าของเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 11 และ 12 เที้ยว (ครั้ง) ตามลำดับ กรณีดังกล่าวนี้ใช้มุมครึ่งตาย 15 องศา

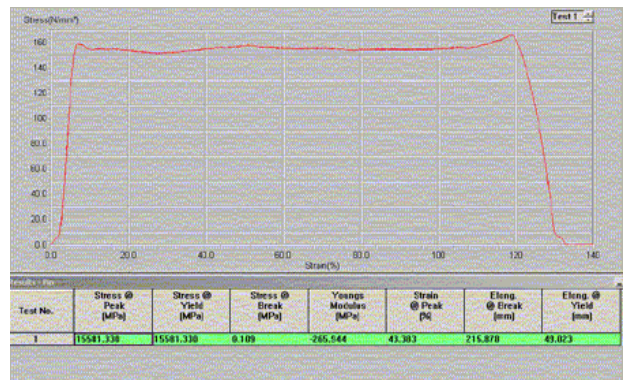


รูปที่ 14 ภาพขยาย 20 เท่าของเส้นลวดทองแดงที่ผ่าออกเป็นสองส่วนตามแนวแกนกลางของเส้นลวดทองแดงที่ผ่านการดึงขึ้นรูปมาแล้ว 11 เที้ยว (ครั้ง) มุมครึ่งตาย 15 องศา

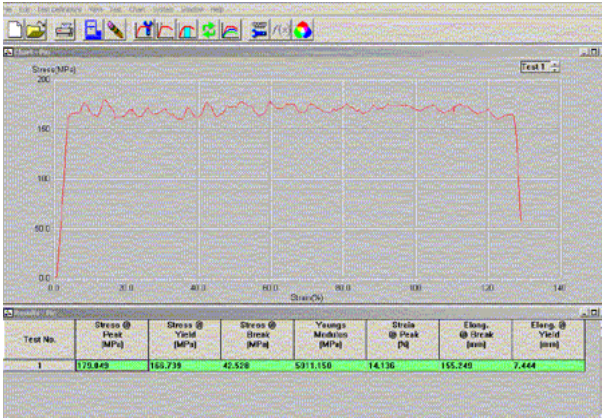
4.2 ผลของมุมตาย และจำนวนเที้ยวของการดึงขึ้นรูป

จากผลการทดลองจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า รอยปริแตกเกิดง่ายขึ้น เมื่อใช้ตายที่มีขนาดมุมตายโตขึ้น กรณีมุมตาย 30 องศา การปริแตกเกิดขึ้นในการดึงเที้ยวที่ 10 และสำหรับมุมตาย 45 องศา การปริแตกเกิดขึ้นในการดึงเที้ยวที่ 6

ความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ระหว่างทดลองดึงขึ้นรูปลวดทองแดงกรณีไม่มีการปริแตก (Central Burst) เกิดขึ้นที่แกนกลางของเส้นลวดนั้น เส้นกราฟที่ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความคงที่ของความเค้นดึงขึ้นรูป (Drawing Stress) ได้อย่างชัดเจน ดังแสดงในรูปที่ 16 ซึ่งจะแตกต่างจากกรณีที่มีการปริแตก (Central Burst) เกิดขึ้นที่แกนกลางของเส้นลวด เส้นกราฟที่ได้จากการทดลองจะปรากฏความผันแปรของค่าความเค้นดึงขึ้นรูป (Drawing Stress) ได้อย่างชัดเจนเช่นกัน ตำแหน่งที่ค่าความเค้นดึงขึ้นรูป (Drawing Stress) ลดต่ำลงคือตำแหน่งที่เกิดรอยปริแตกขึ้นในแกนกลางเส้นลวด ดังแสดงในรูปที่ 17



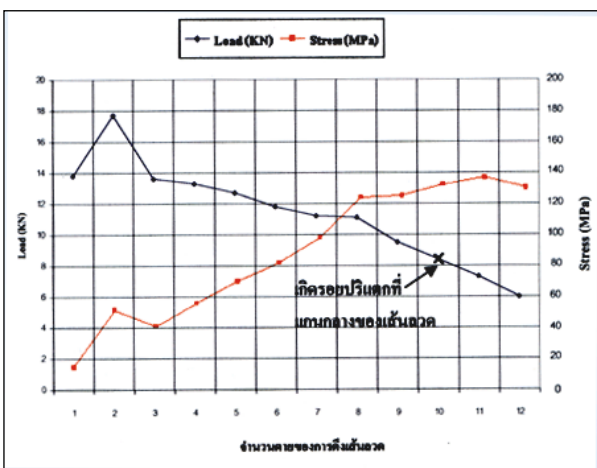
รูปที่ 16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ระหว่างทดลองดึงขึ้นรูปลวดทองแดงกรณีไม่มีการปริแตก (Central Burst) เกิดขึ้นที่แกนกลางของเส้นลวด



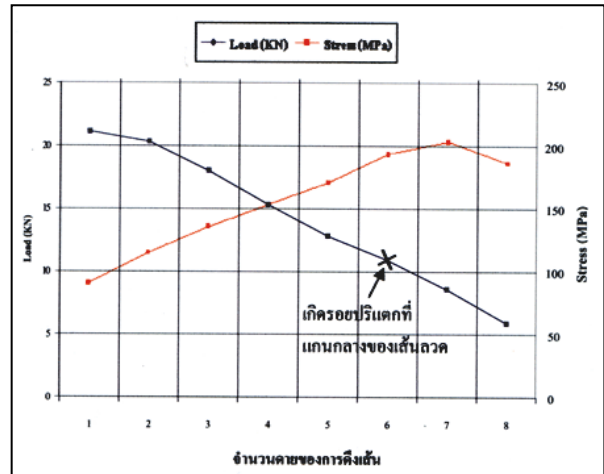
รูปที่ 17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Stress และ Strain ระหว่างทดลอง ดึงขึ้นรูปหลอดทองแดงกรณีมีการปริแตก (Central Burst) เกิดขึ้นที่ แกนกลางของเส้นลวด

4.3 แรง และความเค้นดึงขึ้นรูป

แรงดึงขึ้นรูปหลอดจะแปรผกผันกับจำนวนเที่ยว (ครั้ง) ของ การดึงขึ้นรูปทั้งสองขนาดของค่ามุมตาย คือ 30 องศา และ 45 องศา (ครึ่งมุมตายเท่ากับ 15 องศา และ 22.5 องศา) ในขณะที่เพิ่มจำนวน เที่ยวของการดึงขึ้นรูปขึ้นไปเรื่อยๆ นั้น แรงดึงขึ้นรูปจะลดลงเป็นลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากในขณะดึงลวดผ่านตายแต่ละเที่ยวนั้น พื้นที่หน้าตัด ของลวดจะลดลงคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ เท่ากับ 25 % และ 15 % ตามลำดับ ซึ่งพฤติกรรมดังกล่าวนี้จะตรงกันข้ามกับพฤติกรรมของความเค้นดึงขึ้น รูป คือ ความเค้นดึงขึ้นรูปจะเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนเที่ยว ของการดึงขึ้นรูปด้วยเหตุผลอันเดียวกัน และจะมีค่าสูงสุดในเที่ยวของ การดึงขึ้นรูปหลังเกิดการรอยปริแตกแล้ว 1 เที่ยว ดังแสดงในรูปที่ 18 และ 19



รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load (แรงดึงขึ้นรูปหลอด) และ Stress (ความเค้นดึงขึ้นรูปหลอด) กับจำนวนตายที่ใช้ดึงเส้นลวด (จำนวนเที่ยวที่ดึงลวด) สำหรับมุมครึ่งตาย 15 องศา ดึงลดพื้นที่หน้าตัด 15 %



รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Load (แรงดึงขึ้นรูปหลอด) และ Stress (ความเค้นดึงขึ้นรูปหลอด) กับจำนวนตายที่ใช้ดึงเส้นลวด (จำนวนเที่ยวที่ดึงลวด) สำหรับมุมครึ่งตาย 22.5 องศา ดึงลด พื้นที่หน้าตัด 25 %

ทั้งแรงดึงขึ้นรูปหลอด และความเค้นดึงขึ้นรูปจะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้ ตายที่มีค่ามุมตาย และเปอร์เซ็นต์การลดพื้นที่หน้าตัดมากขึ้น ดังแสดง ในรูปที่ 18 และ 19

5. สรุป และข้อเสนอแนะ

1. จากการทดลองจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าเส้นลวดเกิดข้อบกพร่อง ขึ้นได้ในขณะทำการดึงขึ้นรูปหลายๆเที่ยวติดต่อกัน ซึ่งมีผลมาจากความเค้นดึงสูงสุดที่เกิดขึ้นที่แกนกลางของเส้นลวดเพิ่มขึ้น เมื่อเส้นลวดถูกดึงผ่านตายหลายๆเที่ยว (ครั้ง)
2. การใช้ตายที่มีขนาดของมุมตายที่ต่ำจะช่วยให้ความเค้นดึงขึ้นรูปหลอดในเส้นลวดต่ำไปด้วย และเกิดการรอยปริแตกช้ากว่าขนาดของมุม ตายที่โตกว่า
3. การใช้ตายที่มีขนาดของมุมตายที่โตจะทำให้เกิดการรอยปริแตกใน แกนกลางของลวดเร็วขึ้น และความเค้นดึงขึ้นรูปหลอดในเส้นลวด สูงขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้ลวดเกิดการขาดในขณะดึงขึ้นรูปใน กระบวนการผลิตได้ง่าย ทำให้กระบวนการผลิตต้องหยุดซังกง และต้นทุนการผลิตเพิ่มสูงขึ้น
4. การลดพื้นที่หน้าตัด ที่ต่ำมีผลให้ความเค้นในเส้นลวดต่ำ การลด พื้นที่หน้าตัดสูงมีผลทำให้ความเค้นในเส้นลวดเพิ่มสูงขึ้น และเกิด รอยปริแตกในแกนกลางได้ง่ายขึ้น
5. การลดพฤติกรรมการเกิดข้อบกพร่องในลักษณะดังกล่าว จำเป็นต้องทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าขนาดมุมตาย การลด พื้นที่หน้าตัด ความเร็วขณะดึงเส้นลวดผ่านตาย การอบคลาย ความเค้น และการใช้สารหล่อลื่นในขณะดึงขึ้นรูปหลอดอย่าง ละเอียดลึกซึ้งด้วย

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้ทำวิจัยขอขอบคุณ Professor Kazunari Yoshida พร้อมคณะจาก Tokai University, Japan ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ และความช่วยเหลือในการทำงานวิจัยในครั้งนี้จนเป็นผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Edward M. Mielnik, Metalworking Science and Engineering, 397-463
- [2] Kazunari Yashida, Hiroshi Tanaka, The drawability of Ni-Ti shape-memory alloy wires, Wire and bar, 89-94(1995) 2, 45
- [3] Honma, T., Shape memory alloys and their application, J. JSME, 87-786(1984), 517
- [4] J. Charkrabarty, Theory of Plasticity, McGraw-Hill International Editions, 1987

ผนวกที่ 2 ตารางแสดงขนาดของลวดก่อนและหลังดึงผ่านด้ายกรณีใช้ ด้ายที่มี Re/P = 25 % ในการทดลองครั้งนี้

ดิ่งลดขนาด เทียวย (ครั้ง) ที่	D ₀ (mm)	D _f (mm)
1	20.00	17.32
2	17.32	15.00
3	15.00	12.99
4	12.99	11.25
5	11.25	9.74
6	9.74	8.44
7	8.44	7.31
8	7.31	6.33

ผนวกที่ 1 ตารางแสดงขนาดลวดก่อนและหลังดึงผ่านด้ายกรณีใช้ด้ายที่มี Re/P = 15 % ในการทดลองครั้งนี้

ดิ่งลดขนาด เทียวย (ครั้ง) ที่	D ₀ (mm)	D _f (mm)
1	20.00	18.44
2	18.44	17.00
3	17.00	15.67
4	15.67	14.45
5	14.45	13.32
6	13.32	12.28
7	12.28	11.32
8	11.32	10.44
9	10.44	9.63
10	9.63	8.87
11	8.87	8.18
12	8.18	7.54