

แผนภาพขีดจำกัดความโก่งของแผ่นเชื่อมพ่วง SCGA 340

โดยใช้วิธีการทดสอบแบบโยชิตะ

Buckling Limit Diagram of SCGA 340 Tailor Welded Blanks by Using Yoshida Buckling Testing Method

นายกุลวัช ปรุงฉาการ^{1*} และ รศ.ดิลก ศรีประไพ^{2*}

¹50/8 ม.5 ถ.พุทธมณฑลสาย5 ต.อ้อมน้อย อ.กระทุ่มแบน จ.สมุทรสาคร 74130

โทร. 0-2810-2265 Email: go2208@hotmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือ และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

91 ถ.ปราชูทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

โทร. 0-2470-9219 โทรสาร 0-2872-9080 Email: dilok.sri@kmutt.ac.th

Mr. Gullatawat Putchagarn^{1*} and Vice-Prof. Dilok Sriprapai^{2*}

¹50/8 Moo 5 Putthamonthon sai 5 Rd. Aomnoi, Kratoombaem, Samutsakorn 74130

Tel : 0-2810-2265 Email: go2208@hotmail.com

²Department of Tool and Materials Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkuts's University
of Technology Thonburi

91 Pracha-utid Rd., Bangmod, Tungkru, Bangkok 10140

Tel : 0-2470-9219 Fax : 0-2872-9080 Email: dilok.sri@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เพื่อทำการศึกษาค่าการโก่ง ซึ่งเป็นข้อบกพร่องที่พบโดยทั่วไป ของงานขึ้นรูปโลหะแผ่น SCGA 340 ขนาดความหนา 1.0, 1.2 และ 1.4 ในแผ่นปกติ เปรียบเทียบกับแผ่นเชื่อมพ่วง SCGA340 ความหนา 1.0t/1.4t เชื่อมด้วยเครื่องเชื่อมแบบคาร์บอนไดออกไซด์ CO₂ โลหะแบบนี้ถูกใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ ความบกพร่องที่เกิดจากการโก่งในงานขึ้นรูปโลหะเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมาก สำหรับประสิทธิภาพการขึ้นรูปลึก การเกิดและเพิ่มขึ้นของการโก่งนี้เป็นข้อบกพร่องที่ขึ้นกับตัวแปรหลายตัว ยากจะศึกษาได้ครบถ้วนได้ในคราวเดียว ซึ่งวิธีการทดสอบความโก่งของโยชิตะ สามารถใช้เพื่อศึกษาการเกิดและเพิ่มขึ้นของการโก่งของโลหะแผ่นภายใต้ภาระดึงได้ สำหรับงานวิจัยนี้ทำการทดสอบเพื่อศึกษา พฤติกรรมการโก่ง ในแผ่นเชื่อมพ่วงที่มีความหนาและ ทิศทางของแนวเชื่อมแตกต่างกัน 3 ทิศทาง เปรียบเทียบกับแผ่นขึ้นงานปกติ พบว่า การเกิดการโก่งของแผ่นเชื่อมพ่วง ภายใต้แรงดึง ไม่มีผลรุนแรงมากนักกับการขึ้นรูปโลหะ ซึ่งแนวโน้มของการเกิดการโก่งขึ้นในชิ้นงาน ใกล้เคียงกับผลของการเกิดการโก่งในแผ่นที่หนากว่า และแผนภาพขีดจำกัดความโก่งทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนรูปร่างของแผ่นเชื่อมพ่วงที่มีผลมาจากการโก่งที่เกิดขึ้นทดสอบ ซึ่งสามารถนำไปพิจารณาในการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับแผ่นเชื่อมพ่วงได้ต่อไป

คำสำคัญ: การโก่ง; แผ่นเชื่อมพ่วง; การทดสอบความโก่งของโยชิตะ; แผนภาพขีดจำกัดความโก่ง

Abstract

The objective of this study was to evaluate the buckling high as a typical defecting sheet metal forming procedures of SCGA 340, 1.0 and 1.4 millimeters of thickness in normal sheet compared with tailor welded blank SCGA340, 1.0t/1.4t. This sheet steel used in automotive industry. The occurrence of buckling in sheet metal forming is an important problem for efficient press shop operation. The initiation and growth of these defect depends on many difference parameters, They're difficult to study for all parameter. The method of Yoshida buckling test used to study the initiation and growth of buckling in sheet metals. In this paper, the initiation and growth of buckling in tailor weld blank is a similar to the thicker strips of buckling high when compared with non-welded strips. The defect of buckling under tension load for tailor welded blank did not strong effected to forming procedure. In order to determine the buckling limit diagram (BLDs) of SCGA 340, the results were able to consider for mold design.

Keywords: Buckling; Tailor-welded blank; Yoshida buckling test; buckling limit diagram (BLDs)

1. บทนำ

ปัจจุบันหนทางที่จะช่วยประหยัดพลังงานเป็นเรื่องที่สำคัญมาก ในขณะที่ภาคอุตสาหกรรมต้องเผชิญกับสภาวะการแข่งขันทางเศรษฐกิจ และทางการตลาด ดังนั้นวิธีการที่สามารถลดต้นทุนการผลิตเป็นเรื่องที่สำคัญ ดังนั้นการที่นำกรรมวิธีการใช้วัสดุแบบใหม่ๆ จึงเป็นทางเลือกที่ดีในงานขึ้นรูปโลหะ โดยเฉพาะงานขึ้นรูปตัวถังรถยนต์ วัสดุนี้เรียกว่า แผ่นเชื่อมพ่วง (Tailor weld blank; TWB) เป็นกรรมวิธีการเตรียมวัสดุ โดยนำวัสดุที่มีความหนาแตกต่างกัน หรือมีสมบัติวัสดุแตกต่างกัน นำมาเชื่อมเลเซอร์และนำไปขึ้นรูป

ประเทศไทยในปัจจุบันนี้ ยังไม่มีผู้ออกแบบแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับแผ่นเชื่อมพ่วง มีเพียงการนำเข้า NC Code มาผลิตแม่พิมพ์เพื่อใช้ในงานขึ้นรูปสำหรับแผ่นเชื่อมพ่วง ทางเดียวที่จะทำการวิจัยเพื่อออกแบบแม่พิมพ์สำหรับใช้ในงานขึ้นรูปแผ่นเชื่อมพ่วง จำเป็นต้องเก็บและศึกษาตัวแปรหลาย ๆ ตัวแปรของแผ่นเชื่อมพ่วง เพื่อใช้ประกอบการออกแบบแม่พิมพ์ เช่น สมบัติวัสดุ ความสามารถในการขึ้นรูป การติดกลับของวัสดุ ชิดจำกัดความโค้ง เป็นต้น

ในงานขึ้นรูปชิ้นส่วนต่างๆโดยใช้แผ่นเชื่อมเลเซอร์พ่วงของบริษัทโตโยตา เช่น งาน stamping ตัวถัง ประตูด้านใน และชิ้นส่วนต่างๆของ ตัวถังรถยนต์ เพื่อทราบความสามารถในการขึ้นรูปต้องทำการทดสอบเฉพาะสำหรับแต่ละงาน เช่น stretch forming, flanging และ deep drawing ซึ่งผลที่ได้จะถูกนำไปใช้ในงานจริง [5] ข้อบกพร่องหลักอย่างหนึ่งที่เกิดในงานผลิตที่ใช้ แผ่นเหล็กเป็นชิ้นงาน คือ การย่น (wrinkling) หรือ การโก่ง (buckling) ซึ่งข้อบกพร่องดังกล่าวขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น สมบัติทางกลของวัสดุ, รูปร่างชิ้นงาน, สภาวะสัมผัส (contact condition), อัตราส่วนความเค้น, ความหนาของวัสดุ เป็นต้น ซึ่งยากจะศึกษา และวิเคราะห์ผลกระทบของตัวแปรได้ทั้งหมด เนื่องจากมีความซับซ้อนมาก [6]

ตัวแปรที่สำคัญมากต่อการเกิดการโก่งคือความหนาของชิ้นงาน นั่นคืองานที่มีความบางกว่าจะเกิดการโก่งได้ง่ายกว่าชิ้นงานแผ่นหนา [3] นอกจากนั้นยังพบว่าเกิดการรอยย่นขึ้นอยู่กัอัตราความเครียด (strain rate), normal plastic anisotropy และ ความแข็งแรง (yield strength) ด้วย แต่การเกิดรอยย่นจะช้าลงเมื่อเมื่อมี

การเพิ่มของการยืดตัวคราก (yield elongation) , work hardening และ อัตราความเครียดมีค่าเป็นบวก [1] ส่วนความแตกต่างของอัตราส่วนความหนา (thickness ratio) มีผลต่อขีดจำกัดการขึ้นรูปได้คือ เมื่ออัตราส่วนความหนามีค่าเพิ่มขึ้น จะทำให้ความสามารถในการขึ้นรูปของแผ่นเชื่อมพ่วงลดลง [7]

นอกจากนี้การแตกหัก (failure) ในแผ่นเชื่อมพ่วงอลูมิเนียม ซึ่งผ่านการเชื่อมเลเซอร์ด้วย Non-vacuum electron beam และ neodymium : yttrium-aluminum- garnet technique (YAG technique) จากการทดสอบแนวเชื่อมแบบขวาง และแนวยาว พบว่ามีแนวทางการแตกหัก 2 แบบ คือ การแตกที่รอยเชื่อม และแตกในแผ่นอลูมิเนียมที่บางกว่า [4]

ข้อสมมุติฐานในการทดสอบ ปัจจัยที่สำคัญในการเกิดการโก่งในการทดสอบนี้ น่าจะเป็น ความหนา อัตราส่วนความหนา และ ทิศทางของ แนวเชื่อม ซึ่งการโก่ง หรือรอยย่น จะเกิดขึ้นในวัสดุบริเวณที่มีความบางกว่า รวมถึงการแตกหัก ก็เกิดผลในทำนองเดียวกัน และอัตราส่วนความหนามีผลต่อความสามารถในการขึ้นรูปได้ของแผ่นเชื่อมพ่วง ดังนั้นการศึกษาการโก่ง หรือการย่น ของแผ่นเชื่อมพ่วงสามารถทำได้ โดยใช้การทดสอบความโค้งของโยชิตะ และการตีเส้นกริดเพื่อวัดการเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นงาน จะสามารถนำค่าขีดจำกัดการโก่งไปเป็นตัวแปรหนึ่งในการออกแบบแม่พิมพ์ เพื่อให้ได้ชิ้นงานสำเร็จปราศจากข้อบกพร่องที่เกิดจากการโก่งได้

2. ทฤษฎีและวิธีดำเนินการวิจัย

2.1 สภาวะการโก่งวิกฤติ

บริเวณที่มีการเกิดการโก่ง หรือการย่นนั้นจะมีพื้นฐานจากทฤษฎีของพลังงาน ซึ่งนำเสนอโดย Wang และ Cao [8] ในบริเวณที่เริ่มเกิดการโก่ง จะสมมติให้ค่าความเครียดเฉือน และความเค้นมีค่าน้อยจนสามารถตัดทิ้งได้ โดยสูตรทั้งหมดจะถูกพัฒนามตามทฤษฎีของ Thin plate and shell โดย ใช้การประมาณค่าของ Donnell-Mushtari-Vlasov (DMV) ซึ่ง

รายละเอียดของบริเวณที่เกิดการย่นนั้นนำเสนอในงานวิจัยของ Wang และ Cao [8]

โดยปกติเหล็กแผ่นจะถูกสมมุติว่าอยู่ภายใต้สภาวะสมดุล ดังนั้น ถ้ามีการเพิ่มขึ้นของพลังงานภายในอาจสมมุติได้ว่าเป็น การเกิดการย่นซึ่งมีค่ามากกว่าการเพิ่มขึ้นของงานที่เกิดจากแรงของ โครงสร้าง สภาวะการเกิดการโก่งวิกฤติ สามารถหาได้โดยสมการการ เพิ่มขึ้นของพลังงานภายในของแผ่นที่เกิดการโก่ง, ΔU และ การ เพิ่มขึ้นของงานโดยแรงของโครงสร้าง, ΔT

$$\Delta T = \Delta U \quad (1)$$

สูตรสำหรับ แผ่นโค้งทั่วไปได้มาจาก Wang และ Cao [8] การเกิด การโก่งในแนวระนาบของ Lagrangian strain tensor $\mathcal{E}_{\alpha\beta}$ ที่ ระยะทาง x_3 จากตรงกึ่งกลางผิวของแผ่นโค้งสามารถประมาณได้โดย

$$\mathcal{E}_{\alpha\beta} = E_{\alpha\beta} + x_3 k_{\alpha\beta} \quad (2)$$

$E_{\alpha\beta}$ และ $k_{\alpha\beta}$ แทน Stretching และ Bending Strain

$$E_{\alpha\beta} = \frac{1}{2}(u_{\alpha,\beta} + u_{\beta,\alpha}) + b_{\alpha\beta} w \quad (3)$$

$$k_{\alpha\beta} = -w_{\alpha\beta}$$

จุดภาคเป็นตัวแบ่งพิภพของผิว (x_1, x_2), u คือระยะทางในทิศทางใน ระนาบ (x_1, x_2) และ w คือ การโก่งแบบธรรมดา ณ กึ่งกลางผิวของ แผ่น, $b_{\alpha\beta}$ คือเทนเซอร์ความโค้งของตำแหน่งกึ่งกลางผิวก่อนเกิด การโก่ง กฎ 3-D ในรูปแบบของอัตราของ $\sigma_{\alpha\beta} = \bar{L}_{\alpha\beta\gamma\delta} \dot{\epsilon}_{\gamma\delta}$ ถูก นำมาใช้ สำหรับ tangential modulus ภายใต้สภาวะความเค้นในแนว ระนาบ $L_{\alpha\beta\gamma\delta}$

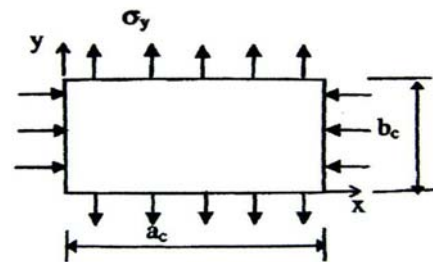
สมมุติให้ระยะทาง $u_\alpha = 0$ และใช้ทฤษฎีการเปลี่ยนรูป พลังงานภายในเพิ่มขึ้นของแผ่นงาน จะสามารถได้โร้สมการได้ดังนี้

$$\Delta U = \frac{t^3}{24} \int_s \bar{L}_{\alpha\beta\gamma\delta} \dot{w}_{,\alpha\beta} \dot{w}_{,\gamma\delta} dS + \frac{t}{2} \int_s \bar{L}_{\alpha\beta\gamma\delta} b_{\alpha\beta} b_{\gamma\delta} \dot{w}^2 dS \quad (4)$$

ที่ S คือ พื้นที่ของผิวด้านบนตำแหน่งกึ่งกลางแผ่นซึ่งเกิดรอยย่น ส่วน งานภายนอกที่เพิ่มขึ้นโดยแรงในโครงสร้างจะกระทำ ณ กึ่งกลาง ระนาบแทนโดย

$$\Delta T = \frac{1}{2} \int_s (N_{11} \dot{w}_{,1} + N_{22} \dot{w}_{,2}) dS \quad (5)$$

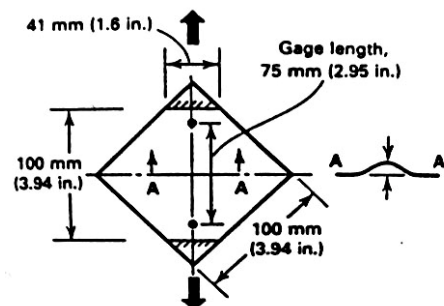
ในงานทดลอง จะสังเกตได้ว่า boundary condition เหนือบริเวณที่เกิดการโก่ง ในการเลือกกำหนดรูปแบบ boundary ต้องคำนึงถึง รูปแบบการขึ้นรูป และ ใช้สูตรของ พลังงาน $\Delta U = \Delta T$, สภาวะวิกฤติ สามารถจะคำนวณได้ใน พังค์ชันของ ความเค้นระนาบ, สมบัติวัสดุ และรูปร่างของชิ้นงาน อีกลักษณะที่สำคัญคือแนะนำขนาดที่เป็น compressive ซึ่งใน การเกิดการโก่งนั้น เนื่องจากความไม่ stable ของ compressive ลดรูปอินทิเกรตพื้นที่ ในสมการที่ (4) และ (5) สำหรับพื้นที่ ภายใต้ compression เป็นการคำนวณที่มีความแม่นยำ



รูปที่ 1 Thin plate under in-plane biaxial loading

2.2 การทดสอบความโก่งแบบโยชิตะ

ในงานวิจัยนี้ จะใช้การทดสอบความโก่งตามวิธีการ ของโยชิตะ [2] ในการวัดความโก่งของชิ้นงาน จะทดสอบด้วย ชิ้นงานที่เป็นแผ่นเรียบ โดยจับยึดด้านตรงข้ามในแนวเส้นทแยง มุมของแผ่นทดสอบ และดึงให้ชิ้นงานยืดออก ดังรูปที่ 2 ตาม ขนาดมาตรฐานของชิ้นทดสอบเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 100 มม. (3.94 นิ้ว) ด้านกว้างแนวจับเท่ากับ 41 มม. (1.6 นิ้ว) ความยาว เกจ เท่ากับ 75 มม. (2.95 นิ้ว) ความสูงของการโก่งจะถูกวัด ณ ตำแหน่งกึ่งกลางของชิ้นงาน

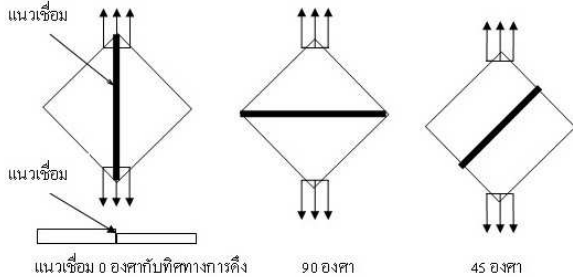


รูปที่ 2 แสดงการทดสอบความโก่งแบบโยชิตะ

ความเค้นที่ไม่สม่ำเสมอ ที่เกิดขึ้นในชิ้นทดสอบ จะทำ ให้เกิดการโก่งขึ้นที่กึ่งกลางของชิ้น งาน ตามความยาวของแนว แรงที่กระทำ จะได้ความสูงของการโก่งที่ระยะการยึดตัวนั้นๆ ตัวอย่าง เช่น 2% การยึดตัว

ในงานวิจัยนี้ จะวัดการเปลี่ยนรูปทั้งในการเพิ่มขึ้นของ การยึดตัวในแนวตั้ง และในแนวที่ชิ้นงานเกิดการโก่ง ซึ่ง

ความสัมพันธ์ที่จะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงาน โดย การทดสอบ จะสิ้นสุดที่ 3-5% การยืดตัวขึ้นทดสอบ



รูปที่ 3 แสดงชิ้นงานแผ่นเชื่อมพ่วง แบ่งตามทิศทางแนวเชื่อม

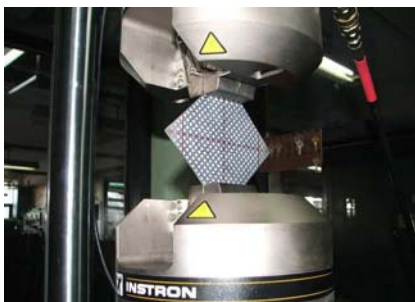
2.3 เหล็กแผ่นรีดเย็นกาวไนส์ SCGA 340 HR-O

วัสดุที่ใช้เป็นชิ้นงานทดสอบนี้จัดว่าเป็นเหล็กในกลุ่ม มาตรฐาน JIS G3302 เป็นโลหะแผ่นที่ผ่านการรีดเย็น ความหนา 1.0, 1.2 และ 1.4 ส่วนผสมทางเคมี มีคาร์บอนผสมอยู่ 0.01%, แมงกานีส 0.15-0.16% กำมะถัน 0.005-0.006% ค่า r-value อยู่ ระหว่าง 1.62-2.39

ตารางแสดงข้อมูลสมบัติวัสดุของ SCGA 340

Thickness mm.	Y.P. or Y.S. Mpa	T.S. %	EL %	Chemical composition %					R value
				C	Si	Mn	P	S	
1.0	231	343	46	0.01	0.01	0.15	0.063	0.003	2.39
1.2	228	345	44	0.01	0.01	0.16	0.066	0.005	1.72
1.4	236	343	44	0.01	0.01	0.15	0.066	0.006	1.62

เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบตอสมบัติวัสดุ ซึ่งการวัด ความเครียดในโลหะแผ่นใช้แบบดิจิตอล ส่วนเครื่องทดสอบที่ใช้ดึงชิ้นงานคือ เครื่องทดสอบความล้า INSTRON 8801 ความเร็วที่ใช้ในการดึง 0.5 มิลลิเมตร/นาที

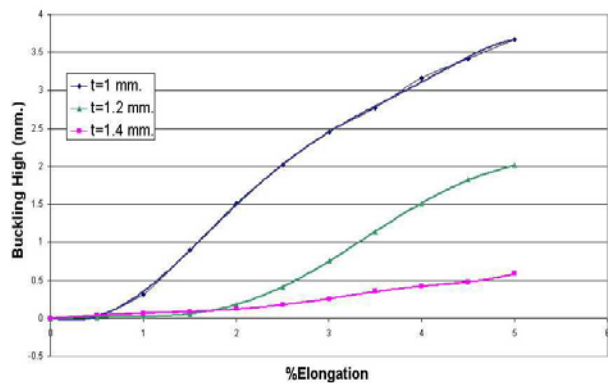


รูปที่ 4 แสดงชิ้นงานขณะทดสอบ

3. ผลการทดลองและสรุป

3.1 ผลการทดลอง

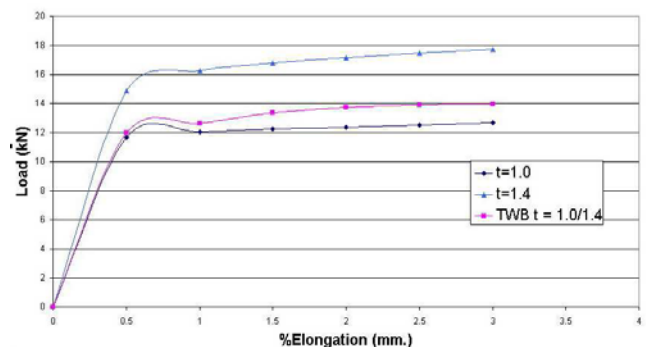
ในการศึกษาความสัมพันธ์ดังกล่าว ข้างต้นของแผ่นทดสอบที่เกิดขึ้น จะสามารถวัดการเปลี่ยนรูปทั้งในการเพิ่มขึ้นของการยืดตัว ในแนวตั้ง และ ในแนวที่ชิ้นงานเกิดการโก่งซึ่งเกิด ในทอมของแรงดึง ซึ่งความสัมพันธ์นี้จะเพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์การยืดตัว โดยการทดสอบจะสิ้นสุดที่ 3% Elongation (%EI) ใช้ ในกรณีแผ่นเชื่อมพ่วง และ 5% EI สำหรับแผ่นปกติ (5% EI = 3.75 mm. สำหรับ ความยาวเกะเท่ากับ 75 mm.) ความเร็วในการดึงทดสอบเท่ากับ 0.5 มม./นาที วัสดุที่ใช้ทดสอบ เป็น SCGA 340 ความหนา 1.0, 1.2 และ 1.4 มม. ซึ่งได้ผลการทดสอบดังนี้



รูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความโก่ง และเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ในแผ่นปกติ SCGA 340

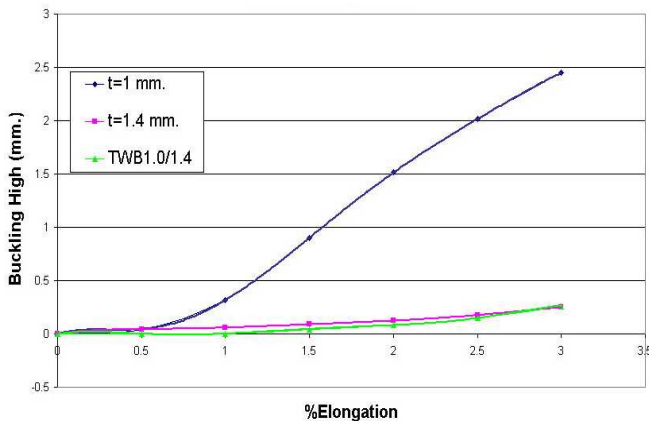
จากกราฟรูปที่ 5 พบว่าในแผ่นปกติ วัสดุที่มีความหนาจะต้านทานการโก่งได้ดีกว่า วัสดุที่บางกว่า และการโก่งจะเริ่มเพิ่มขึ้นสูง จนสังเกตเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อ เปอร์เซ็นต์การยืดตัวประมาณ 1-3 % EI ขึ้นไป

จากกราฟรูปที่ 6 พบว่าแรงที่ใช้ดึงขึ้นทดสอบแปรตามความหนาของแผ่นโลหะนั่นคือ โลหะที่หนากว่าต้องใช้แรงในการดึงมากกว่าโลหะที่บางกว่าและสังเกตได้ว่าความชันของกราฟในช่วงแรกจะมากกว่าช่วงหลัง ซึ่งมีการเพิ่มของภาระที่ใช้ดึงชิ้นงานในช่วงแรกมากกว่าช่วงหลัง

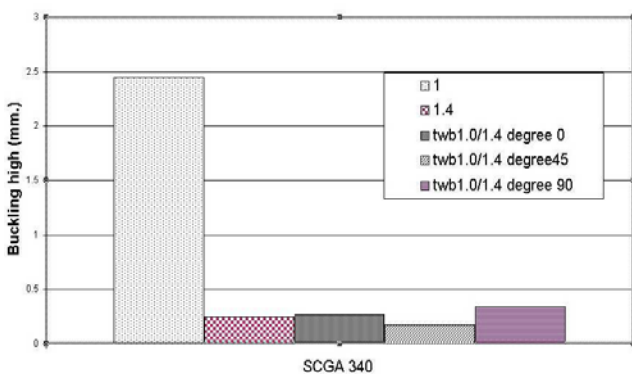


รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของแรงที่ใช้ดึง กับ เปอร์เซ็นต์การยืดตัวของชิ้นงาน

จากรูปกราฟที่ 7 เมื่อเปรียบเทียบการเกิดความโก่ง ในแผ่นเชื่อมพ่วงความหนาต่างกัน 2 ขนาดคือ 1.0/1.4 มม. กับแผ่นความหนาปกติที่ 1.0 และ 1.4 มม. พบว่าแผ่นเชื่อมพ่วงมีแนวโน้มการเกิดการโก่งน้อยลง เมื่อเทียบกับแผ่นวัสดุที่ความหนาปกติ พบว่ามีการโก่งน้อยมาก ที่ เปอร์เซนต์การยืดตัวที่ 3% สังเกตได้ว่าการโก่งของแผ่นเชื่อมพ่วง SCGA 340 1.0/1.4 มีค่าใกล้เคียงกับ ความโก่งที่เกิดขึ้นในแผ่น SCGA 340 แผ่นปกติ ที่ความหนา 1.4 มม.

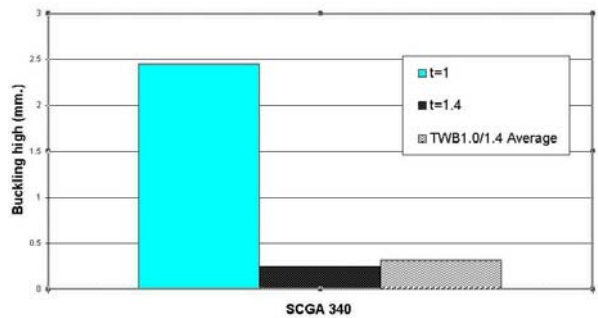


รูปที่ 7 กราฟแสดงการโก่ง กับเปอร์เซนต์การยืดตัวของแผ่นเชื่อมพ่วง SCGA 340 1.0/1.4 และ แผ่นปกติ หนา 1.0 และ 1.4 มม.



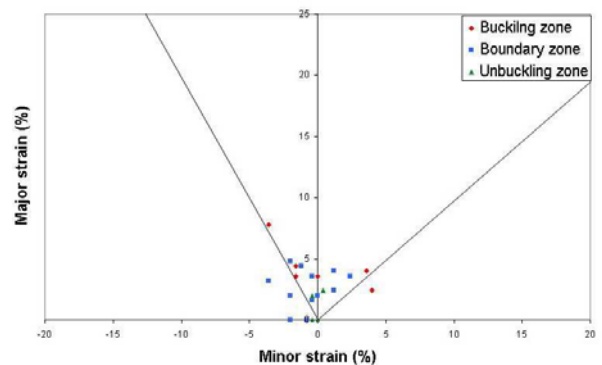
รูปที่ 8 กราฟแสดงการโก่งที่เกิดขึ้นในแผ่นปกติ และแผ่นเชื่อมพ่วงแต่ละทิศทางแนวเชื่อม ที่ 3% การยืดตัว

จากรูปที่ 8 และ 9 กราฟเปรียบเทียบการโก่ง ที่ 3% Elongation ในวัสดุทดสอบ แบบแผ่นปกติ ความหนา 1.0 และ 1.4 มม. ส่วนแผ่นเชื่อมพ่วง ขนาด 1.0/1.4 ทิศทางแนวเชื่อม 0 45 และ 90 องศาทิศทางการดึง โดยเฉลี่ย พบว่า แนวโน้มการโก่งในแผ่นเชื่อมพ่วงมีค่าลดลงมาก เมื่อเทียบกับแผ่นชิ้นงานปกติที่ความหนา 1.0 นัยคือ เมื่อมีการทำแผ่นเชื่อมพ่วงมาใช้ในการขึ้นรูป จะทำให้ข้อบกพร่องจากการเกิดการโก่งโดยแรงดึงมีค่าลดลงอย่างมาก



รูปที่ 9 กราฟแสดงการโก่งที่เกิดขึ้นในแผ่นปกติ และแผ่นเชื่อมพ่วงโดยเฉลี่ย ที่ 3% การยืดตัว

จากการวัดค่าความเปลี่ยนแปลง ของกริด และนำไปคำนวณค่าความเครียดหลัก (Major strain) และความเครียดรอง (Minor strain) ทำให้ทราบค่าการเปลี่ยนแปลงของความเครียดในแนวแกนหลัก และ แกนรอง เพื่อนำค่าดังกล่าวมาพล็อตกราฟเป็นแผนภาพขีดจำกัดความโก่ง (Buckling limit diagram; BLD) ของวัสดุทดสอบ ได้ผลดังนี้

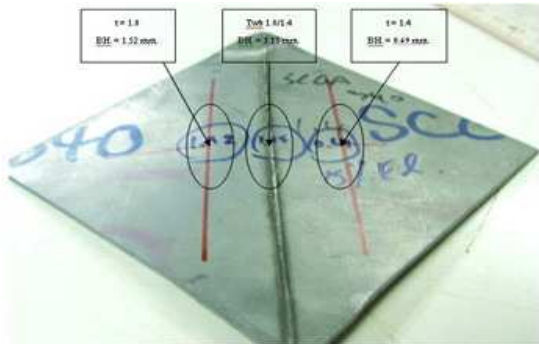


รูปที่ 10 แผนภาพขีดจำกัดความโก่งของ SCGA 340 แผ่นเชื่อมพ่วง 1.0/1.4 มม.

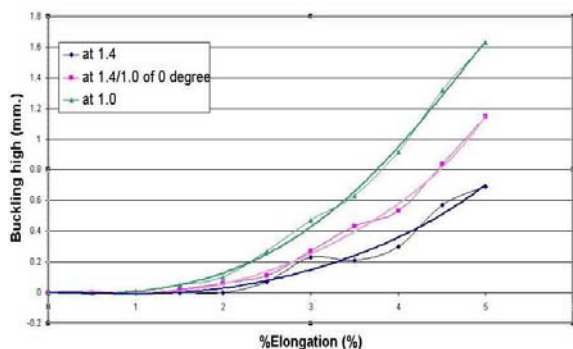
จากรูปที่ 10 สังเกตได้ว่า การเปลี่ยนรูปของแผ่นเชื่อมพ่วงมีค่าน้อย ในส่วนที่เกิดการโก่ง และ ส่วนที่เป็นขอบเขตของส่วนที่เกิดการโก่งขึ้น มีค่าน้อยกว่าแผ่นปกติ ซึ่งตำแหน่งกึ่งกลางที่มีการโก่งเกิดขึ้น จะพบว่ามีค่าอยู่ใกล้เคียงกับส่วนที่เป็นขอบเขตการโก่ง

จากการทดสอบโดยใช้วัสดุทดสอบเป็นแผ่นเชื่อมพ่วงขนาดทดสอบได้ทำการเก็บข้อมูล ณ ตำแหน่งต่าง ๆ กัน 3 ตำแหน่งของแผ่นเชื่อมพ่วง โดยทำการเก็บข้อมูลของการโก่งในตำแหน่งแผ่นบาง ตำแหน่งกึ่งกลางรอบเชื่อม และ ตำแหน่งแผ่นหนา เพื่อให้ทราบถึงการเกิดการโก่งในแผ่นเชื่อมพ่วงโดยพิจารณาการโก่ง ในแต่ละทิศทางแนวเชื่อมของแผ่นเชื่อมพ่วง SCGA 340 ขนาด 1.0/1.4 เพื่อวิเคราะห์ว่าแนวโน้มของการเกิดการโก่ง เป็นลักษณะใดได้ดังนี้

ทิศทางแนวเชื่อมที่ 0 องศา พบว่าในแผ่นเชื่อมพ่วงที่บางกว่าจะเกิดการโก่งมากที่สุด รองลงมาคือตำแหน่งกึ่งกลางแนวเชื่อม และในแผ่นที่หนากว่า เกิดการโก่งน้อยที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 11 แสดงการโก่งในแต่ละตำแหน่งของชิ้นงานของแผ่นเชื่อมพ่วงที่ทิศทางแนวเชื่อม 0 องศา



รูปที่ 12 แสดงความโก่งกับเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ในแต่ละตำแหน่งในแผ่นเชื่อมพ่วงที่ทิศทางแนวเชื่อม 0 องศา

จากรูปกราฟที่ 12 พบว่าแนวโน้มของการโก่งของในแต่ละตำแหน่งของแผ่นเชื่อมพ่วงมีค่าไม่เท่ากัน โดยในแผ่นหนาจะเกิดการโก่งน้อย รองลงมา คือตำแหน่งแนวเชื่อม และตำแหน่งที่แผ่นบางจะเกิดการโก่งขึ้นมากที่สุด ณ เปอร์เซนต์การยืดตัวที่ 5% นั้นหมายความว่า แม้จะเป็นแผ่นเชื่อมพ่วงแต่ความโก่งยังขึ้นอยู่กับความหนาของวัสดุที่นำมาขึ้นรูป ซึ่งในแนวเชื่อม 0 องศา สามารถสังเกตได้ชัดเจนที่สุด และในทิศทางแนวเชื่อม 45 และ 90 องศา ผลที่ได้พบว่ามีแนวโน้มที่เหมือนกัน

3.2 สรุปผลการทดลอง

อิทธิพลของแผ่นเชื่อมพ่วงกับการเกิดการโก่งในงานขึ้นรูปภายใต้แรงดึงนั้น พบว่าโลหะที่มีความหนาน้อยจะเกิดการโก่งมาก

เสมอ แม้กระทั่งในแผ่นเชื่อมพ่วงก็เกิดผลกระทบไปในแนวทางเดียวกัน แต่การโก่งในแผ่นเชื่อมพ่วงมีแนวโน้มลดลงมากเมื่อเปรียบเทียบกับความโก่งที่เกิดขึ้นสูงสุดที่เกิดขึ้นในแผ่นปกติ ไม่ว่าจะเป็นในทิศทางแนวเชื่อม 0 45 และ 90 องศา กับทิศทางแรงดึง ดังนั้นในการออกแบบแม่พิมพ์ สามารถทำนายแนวโน้มที่จะเกิดขึ้นในแผ่นเชื่อมพ่วงได้ โดยใช้แผ่นที่หนากว่าเป็นเกณฑ์ สำหรับแผ่นเชื่อมพ่วง SCGA 340 t1.0/1.4 mm. ที่ 3% elongation จะมีค่ามากกว่าแผ่นหนา (1.4 mm.) ของแผ่นธรรมดาประมาณ 6.06%

ส่วนทิศทางของแนวเชื่อมทั้ง 3 ทิศทาง พบว่ามีอิทธิพลต่อการเกิดการโก่ง โดยพบว่าในแนวเชื่อม 45 องศา กับแนวแรงดึงที่กระทำกับชิ้นงาน ก่อนข้างมีความสม่ำเสมอในการกระจายความเครียดมากที่สุด เมื่อเทียบกับแนวเชื่อมในทิศทางอื่น ดังนั้นในการขึ้นรูปแผ่นเชื่อมพ่วงภายใต้สภาวะแรงดึงกระทำควรให้แนวเชื่อมทำมุม 45 องศา กับแนวแรงดึงที่กระทำกับชิ้นงาน จะทำให้ปัญหาการเกิดการโก่งลดลงกว่าวางชิ้นงานในแนวอื่น และแผนภาพขีดจำกัดความโก่งของแผ่นเชื่อมพ่วง SCGA 340 t1.0/1.4 mm. มีการเปลี่ยนรูปร่างน้อยลงเมื่อเทียบกับชิ้นงานปกติ ซึ่งสามารถนำไปเป็นตัวแปรเพื่อใช้ในการตัดสินใจออกแบบแม่พิมพ์สำหรับแผ่นเชื่อมพ่วงได้ต่อไป

4. เอกสารอ้างอิง

- [1]. A.M. Szancinski and P.F. Thomson, 1984, "The Effect of Mechanical Properties on The Wrinkling Behavior of Sheet Materials in The Yoshida Test", Journal of Mechanical Working Technology, [Electronic], 10, pp. 87-102, Available : Elsevier/Science Direct [2005 August 22].
- [2]. Brain Taylor, "Metal Handbook Ninth Edition Volume 14 Forming and Forging" pp.877-897.
- [3]. E. Bayraktar, N. Isac and G. Arnold, 2005, "Buckling Limit Diagram (BLDs) of Interstitial Free Steel (IFS): Comparison of Experimental and Finite Element Analysis", Journal of Materials Processing Technology, [Electronic], 164-165, pp. 1487-1494, Available : Elsevier/Science Direct [2005 August 22].
- [4]. H.R. Shakeri, A.Buste, M.J. Worswick, J.A. Clarke, F.Feng, M.Jain, M.Finn, 2002, "Study of damage initiation and fracture in aluminum tailor welded blanks made via different welding techniques", Journal of Light Metals 2, [Electronic], 95-110, Available : Elsevier/Science Direct [2005 August 25].
- [5]. Hisashi Kusuda, Toshiyuki Takasago and Fumiaki Natsumi, 1997, "Formability of Tailored Blanks", Journal of Materials Processing Technology, [Electronic], 71, pp. 134-140, Elsevier/Science Direct [2005 July 20].

[6]. J.B. Kim, J.W. Yoon and D.Y. Yang, 2000, "Wrinkling Initiation and Growth in Modified Yoshida Buckling Test: Finite element analysis and Experimental Comparison", Journal of Mechanical Sciences, [Electronic], 42, pp. 1683-1714, Available : Elsevier/Science Direct [2005 July 20].

[7]. S.M. Chan, L.C. Chan and T.C. Lee, "Tailor-Welded Blanks of Different Thickness Ratios Effects on Forming Limit Diagram", Journal of Materials Processing Technology, [Electronic], 132, pp. 95-101, Available : Elsevier/Science Direct [2005 August 22].

[8]. Wag, X., and Ca, J., 2000, "An Analytical Model for Flange Wrinkling in Sheet Metal Forming," Journal of Manufacturing Processes, 2(2), pp. 100-107.