การศึกษาการชดเชยการดีดกลับของเหล็กแผ่นชนิด S50C และ SPCC

A Study on Compensation of Springbacks of S50C and SPCC Steel Sheets

ภาสกร จำปาเงิน* ทวี เทศเจริญ**
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร 10530
โทร 0-23264197 โทรสาร 0-23264198 E-mail: phasakorn_79@hotmail.com

Phasakorn Champargern* Thavee Teschareon**
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
NongChok, Bangkok, 10530, Thailand
Tel: 02-3264197 Fax: 02-3264198 E-mail:phasakorn_79@hotmail.com

บทคัดย่อ

จากการศึกษาพฤติกรรมการดีดกลับและการชดเชยการดีดกลับโดยวิธีการพับขึ้นรูปแบบคงรูปที่ทำให้วัสดุเกิดแรงกดพับจนเกินจุด Yield Strength ซึ่งทำให้วัสดุเกิดการยืดตัว แต่ก็มีความเค้นที่ตกค้างอยู่ซึ่งทำให้วัสดุนั้นดีดกลับมาบางส่วนวัสดุ S50C และ SPCC โดยส่วนใหญ่ใช้ในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ เป็นการทดสอบโดยวิธีการพับขึ้นรูปตัววี เครื่องที่ใช้ในการทดสอบเป็นแบบโยก กระบวนการทดสอบเริ่มจากนำเอาชิ้นทดสอบมาตรวจหาคุณสมบัติเชิงกล เช่น ตรวจสอบการรับแรงดึงและการตรวจสอบหาความแข็งแบบร็อกเวลแบบวิกเกอร์ ตลอดจนหาสารผสมในเนื้อวัสดุ โดยที่ขนาดของชิ้นทดสอบอยู่ที่ 70 x 50 มิลลิเมตร ทำการพับที่มุมต่างๆ ในการทดสอบจะใช้ระบบนิวแมตริกเป็นตัวส่งกำลัง,ควบคุมระยะเวลาการพับรวมถึงอัตราความเร็วในการพับ ซึ่งจะทำให้การพับจะเท่ากันทุกช่วงการทดสอบ จากชิ้นทดสอบที่ได้จะนำไปวัดหามุมองศาของการดีดกลับของวัสดุ ผลการทดสอบเหล็กทั้งสองชนิดมีการดีดกลับ หลังจากการพับ เหล็กที่มีความเค้นสูงจะเกิดการดีดกลับมาก ถ้าพับให้มุมองศามากขึ้นการเกิดการดีดกลับจะลดลง การพับเหล็กในองศาที่มากกว่าจะได้องศาตามต้องการและเมื่อพับเหล็กเลยจุดแรงดึงสูงสุดจะทำให้ชิ้นงานแตก

Abstract

The objective of this research was to study on mechanical action of springback and to recover of springback by means of materials. Standing model which the materials have forced to press bending to exceed Yield strength and then the materials have to stretch and residual stress to take place a partially springback on S50C and SPCC which mostly used in metal shaping industry. The investigation of these used materials V-bending machine with the help of a rocking-type tester. The testing process commenced from testing the mechanical properties of sample materials:(a tensile strength test , a Rackwell, Vicker hardness test) and material mixture analyzing. The dimension of specimens was 70 x 50 mm, with different angles. The pneumatic system was used as a power transmitter for bending duration and speed controller in order to obtain the steady bendings throughout the test. After that the springback angles of the materials were measured. It was found that both types of specimens had their own springback properties. After the bending process it was found that the higher stress occurred the more increasingly in springback property occurred but the angles increases, the springback property became less. To obtain the angle required, the specimens bending angles had to exceed bent. But such bending angle exceeded its tensile strength limit, the specimens were broken.

1. บทนำ

การเกิด Springback เป็นอันตรายในการประดิษฐ์ส่วนประกอบต่างๆ ทั้งทางด้าน อีเล็กโทรนิค โครงสร้างรถยนต์ เครื่องบิน อุปกรณ์สำนักงาน อีกทั้งภาชนะบรรจุอาหารและเครื่องดื่ม Springback ที่เกิดขึ้นจะทำให้เกิดการเสียหายกับวัสดุที่ทำการผลิต การหาวิธีลดการเกิด Springback ที่เกิดขึ้นจะช่วยให้ผลผลิตที่ดี ทั้งทางด้านความแข็งแรง ความสวยงานของพื้นผิว ความแม่นยำของชิ้นงานร่วมทั้งราคาไม่สูง การพับวัสดุโดยเพิ่มแรงกดทำให้งอผิดรูปร่างไป พลังงานยืดหยุ่นที่อยู่ ในส่วนโค้งเป็นสาเหตุทำให้วัสดุกับมาสู่สภาพเดิมบางส่วน การเกิด Springback มากหรือน้อย เป็นผลมาจากองศาการพับและรัศมีของมุมพับ รวมทั้งคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุ จุดประสงค์หลักของการทดลองนี้ เพื่อทำการศึกษาพฤติกรรมทางกลการเกิด Springback ของ

---

* นักศึกษาปริญญาโทคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

** อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์

วัสดุ 2 ชนิด คือ วัสดุ SPCC และ วัสดุ S50C ซึ่งมีค่าทางกายภาพที่แตกต่างกันโดยทางปฏิบัติและทางทฤษฎี และทำการชดเชยการเกิด Springback

2. ทฤษฎี

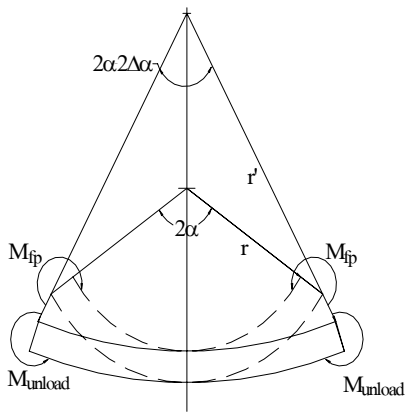
การขึ้นรูปโลหะด้วยการพับขึ้นรูป เมื่อให้โหลดกับวัสดุ (M_{fP}) วัสดุจะเกิดการงอตัวความเค้นจะเกิดขึ้นในเนื้อวัสดุ หลังจากวัสดุไม่ได้รับโหลด (M_{unload}) วัสดุจะเกิดการงอตัวเกิดขึ้น แต่มุมที่เกิดขึ้นไม่เท่ากับมุมที่เกิดจากการรับโหลด เหตุผลที่เป็นเช่นนี้เพราะวัสดุเกิดการ Springback (K_S) จากรูปที่ 2.1 แสดงรูปร่างระหว่างวัสดุที่รับโหลดกับวัสดุที่ไม่มีโหลด

$$Ks = \frac{\alpha - \Delta\alpha}{\alpha} \qquad (2.1)$$

โดยที่ $$Ks = 1 - \frac{\Delta\alpha}{\alpha} \qquad (2.2)$$

จากการพยายามที่จะกลับสู่สภาพปกติ ความเค้นตกค้างส่งผลให้วัสดุเกิดการดีดกลับมาบางส่วน ความแตกต่างของครึ่งของมุมการงอที่เกิดจากการ Springback; $\Delta\propto$

จากสมการข้างต้นสามารถอธิบายที่มา โดยการสันนิษฐาน ให้พฤติกรรมของวัสดุเป็นแบบ Isotropic จากสภาวะการดึงผิว หรือความตึงเครียดที่เกิดจากการโค้งงอของวัสดุ σ



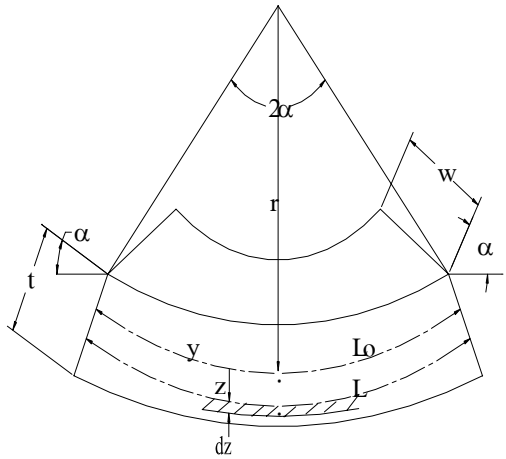
รูปที่ 2.1 แสดงปรากฏการณ์การเกิด Springback

โดยที่ $$\sigma_0 = Y' \qquad (2.3)$$

Y' = ค่า Yield Stress ที่แนวระนาบ จากสมการ

$$Y' = 1.15\ Y_0 \qquad (2.4)$$

กำหนดให้ Y_O คือ Yield stress ในแนวแกน



รูปที่ 2.2 แสดงพิกัดสำหรับการวิเคราะห์ระบบการงอ

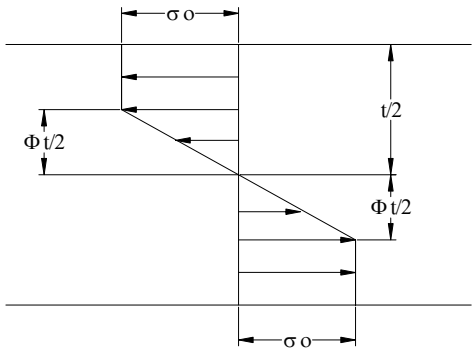
จากการวิเคราะห์รูปที่ 2.2 ความเค้น σ ความเครียด ε ในกระบวนการพับ จะกระจายไปตามแกน Z การวิเคราะห์ค่าของ elastic perfect plastic ของวัสดุ M_{fP} สามารถหาได้จากสมการรูปที่2.3

$$\sigma y = \begin{cases} \dfrac{zE \ / \left[r\left(1-\upsilon^2\right)\right]}{\sigma_0} \end{cases} \qquad (2.5)$$

$0 \le |z| \le \phi t/2$ ถึง $\phi t/2 \le |z| \le t/2$

ค่า E คือค่า Young's modulus

ν คือค่า Poisson ratio



รูปที่ 2.3 แสดงความเค้นกระจายช่วง Elastic และ Plastic

จากการโค้งงอก่อให้เกิดปัจจัยสำคัญที่สามารถ คำนวณสมการได้ดังนี้

$$M_{fp} = 2\int_0^{t/2} \sigma_y\, z\, dz \qquad (2.6)$$

แทนค่าสมการความเค้น 2.5 ลงในสมการที่ 2.6

$$M_{fp} = (\sigma_0)\frac{t^2}{4} - \sigma_0^3\left[\frac{\left(1-\upsilon^2\right)\left(r_p + \frac{t}{2}\right)}{E}\right]^2 / 3 \qquad (2.7)$$

โดยที่

$$r = r_p + \frac{t}{2} \tag{2.8}$$

r_P = รัศมีของ punch

จากข้อสรุป ความแตกต่างระหว่างการกระทำที่มี M_{fP} และไม่มี M_{unload} จากรูป 2.1 ค่าความแตกต่างของ Springback ที่ได้รับจากความเค้นที่เกิดขึ้น

$$\Delta\varepsilon = \frac{z}{r} - \frac{z}{r'} \tag{2.9}$$

เงื่อนไขความเค้นแนวระนาบ

$$\sigma_y = \frac{\Delta\varepsilon E}{\left(1-\upsilon^2\right)} \tag{2.10}$$

เพราะฉะนั้น แทนสมการ 2.9 ลงใน 2.10

$$M_{unload} = \frac{2E}{\left(1-\upsilon^2\right)\int_0^{t/2}\Delta ezdz}$$

$$= \frac{Et^3\left(1/r - 1/r'\right)}{\left[12\left(1-\upsilon^2\right)\right]} \tag{2.11}$$

เนื่องด้วยการเคลื่อนตัวของชิ้นทดสอบในสภาวะที่ไม่มีโหลด ผลของ Moment ,มีค่าเป็น

$$M_{fp} - M_{unload} = 0 \tag{2.12}$$

Ks หาได้จาก

$$Ks = 1 - \frac{12\left(1-\upsilon^2\right)\left(rp/t + 12\right)M_{fp}}{Et^3} \tag{2.13}$$

ฉะนั้น แทนสมการ 2.7 และ 2.8 ในสมการ 2.13 ได้

$$Ks = 1 - 3\left(1-\upsilon^2\right)\left(r_p/t + 1/2\right)\left(\sigma_0/E\right) + 4\left[\left(1-\upsilon^2\right)\left(r_p/t + 1/2\right)\left(\sigma_0/E\right)\right]^3 \tag{2.14}$$

จากสมการ ถ้า $t << r_P$, ให้ ν = 0.366

$$Ks = 1 - 3\left(r_p Y_0\right)/\left(E/t\right) + 4\left[\left(r_p Y_0\right)/\left(Et\right)\right]^3 \tag{2.15}$$

3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งแบบร็อกเวลสเกล C (HRC) ใช้วัดความแข็งของเหล็กกล้าที่ผ่านการชุบแข็ง โดยการใช้หัวกดรูปทรงกรวยทำด้วยเพชรมีมุมยอดเท่ากับ 120 องศา ผลการตรวจสอบความแข็งของเหล็ก S50C แบบ HRC ได้ 26.8

การทดสอบความแข็งแบบวิกเกอร์ (Vicker, HV) ความแข็งจากอัตราส่วนของน้ำหนักที่ใช้กดต่อพื้นที่สัมผัสกับหัวกดเพชรรูปพีระมิด มีฐานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งมีมุมระหว่างหน้าต่อหน้าเท่ากับ 130 องศาส่วนน้ำหนักหรือแรงกดนั้นขึ้นอยู่กับผิวของชิ้นทดสอบ มีขนาดตั้งแต่ 1-200 กิโลกรัมโดยใช้เวลาในการกดประมาณ 10-30 วินาที ผลการตรวจสอบความแข็งของเหล็ก SPCC แบบ HV ได้ 99.7

3.2 การตรวจสอบหาส่วนผสมในเนื้อวัสดุ (Composition test)

การตรวจสอบส่วนผสมของวัสดุ S50C และ SPCC โดยใช้เครื่อง BΛIRD Spectrovac 1000 MODEL OV4 SERIAL 2054 ในการตรวจสอบจะใช้ก๊าซ ไฮโดรเจนเหลว ละลายเนื้อของวัสดุและทำการตรวจวัดและแสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของ S50C

Fe	98.353	C	0.4993	SI	0.2328	Mn	0.754	P	0.0341
S	0.0153	Ni	0.0098	Cr	0.0233	Mo	0.0043	Cu	0.0063
V	0.0054	Ti	0.0015	Ai	0.0236	W	0.0356	Co	0.0001
Sn	0.0018								

ตารางที่ 3.2 แสดงส่วนผสมทางเคมีของ SPCC

Fe	99.504	C	0.0394	SI	0.0096	Mn	0.208	P	0.0415
S	0.0182	Ni	0.0167	Cr	0.0473	Mo	0.0053	Cu	0.0082
V	0.0037	Ti	0.0014	Ai	0.0564	W	0.0383	Co	0.0005
Sn	0.0019								

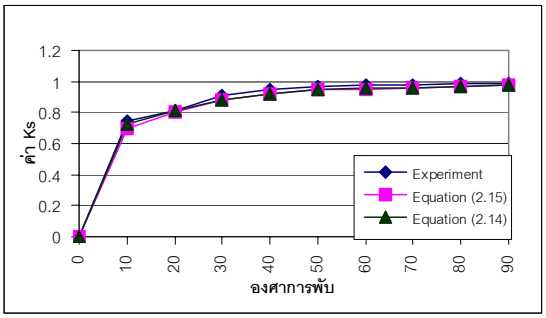
3.3 การทดสอบแรงดึง

การทดสอบเป็นการประมาณความแข็งแรงของโลหะทำให้ทราบถึงข้อมูลคุณสมบัติเชิงกลที่ได้จากการทดสอบค่าความเค้นและความเครียดสามารถนำมาวิเคราะห์ในทางวิศวกรรม

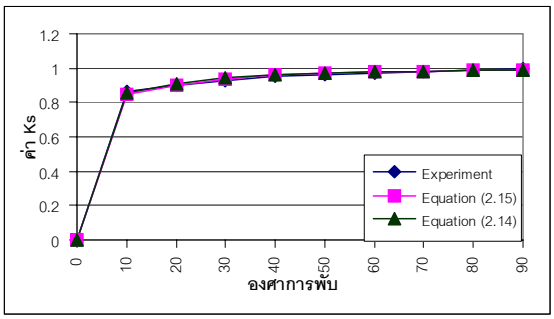
ตารางที่ 3.3 แสดงค่าความเค้นความเครียด

Material	Yield Strength	Elastic Modulus	Poisson Ratio
	[MPa]	[GPa]	[υ]
SPCC	300	210	0.291
S50C	1100	207	0.292

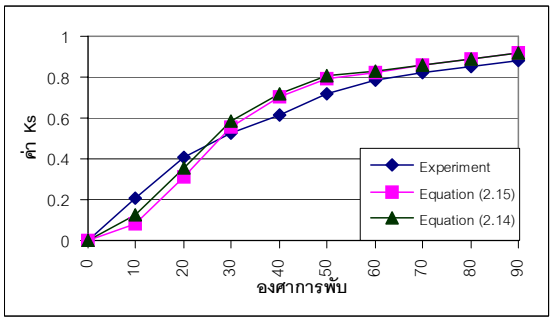
3.4 เปรียบเทียบการทดลองกับทฤษฎี



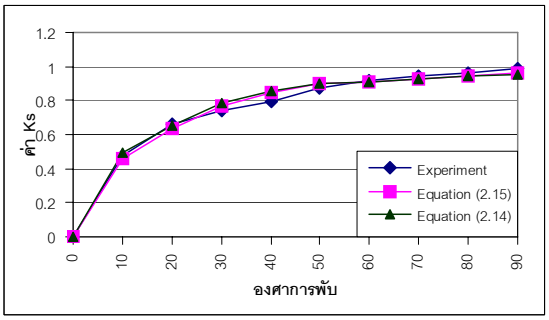
กราฟที่ 3.1 แสดงค่า Ks ที่เกิดจากการพับวัสดุ SPCC ขนาด 1 mm.



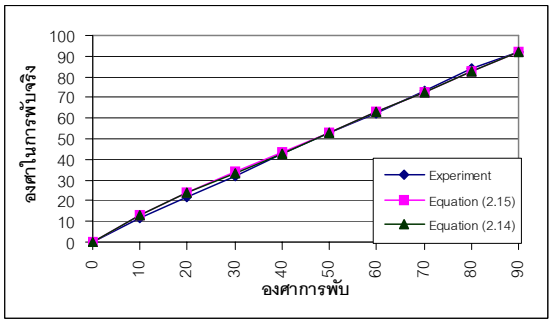
กราฟที่ 3.2 แสดงค่า Ks ที่เกิดจากการพับวัสดุ SPCC ขนาด 2 mm.



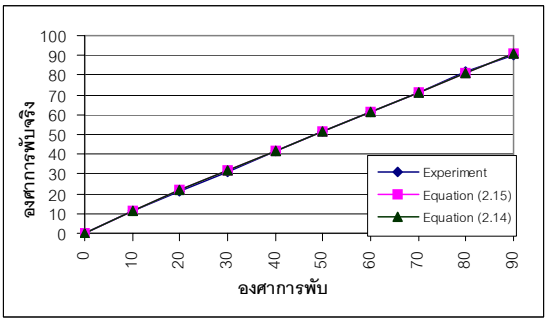
กราฟที่ 3.3 ค่า Ks ที่เกิดจากการพับวัสดุ S50C ขนาด 1 mm.



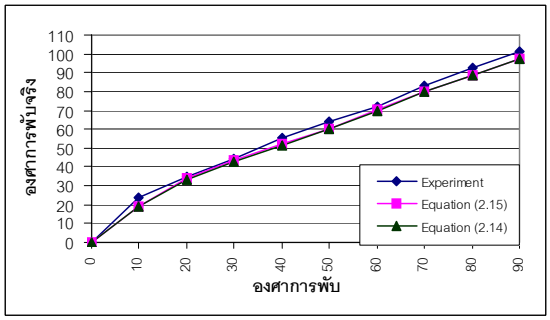
กราฟที่ 3.4 ค่า Ks ที่เกิดจากการพับวัสดุ S50C ขนาด 2 mm.



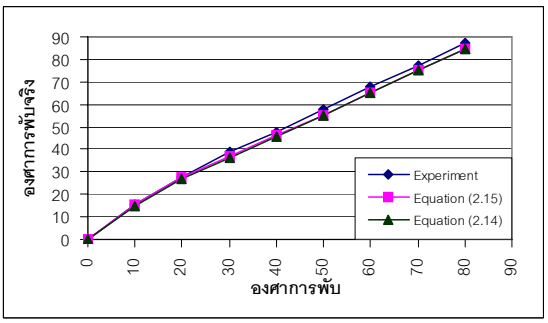
กราฟที่ 3.5 แสดงค่าชดเชยองศาการพับจริงของวัสดุ SPCC ขนาด 1 mm.



กราฟที่ 3.6 แสดงค่าชดเชยองศาการพับจริงของวัสดุ SPCC ขนาด 2 mm.



กราฟที่ 3.7 แสดงค่าชดเชยองศาการพับจริงของวัสดุ S50C ขนาด 1 mm.



กราฟที่ 3.8 แสดงค่าชดเชยองศาการพับจริงของวัสดุ S50C ขนาด 2 mm.

เมื่อทำการทดสอบวัสดุทั้งสองชนิด จึงทำให้ทราบว่าวัสดุแต่ละชนิดมีการดีดกลับที่ไม่เท่ากัน อีกทั้งความหนาของวัสดุก็เป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการดีดกลับ จากสมการที่นำมาวิเคราะห์ หาค่าการดีดกลับของวัสดุนี้ สามารถแสดงให้เห็นถึง ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นวัสดุจะยืดตัวออกจนเลยจุด Yield strength เมื่อถูกพับหลังจากถูกพับที่องศามากขึ้นทำให้เลยจุด Elastic ไปอยู่ในช่วง Plastic ซึ่งทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างแบบคงรูป การเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปในที่นี้ก็ยังมีความเค้นที่แฝงตัวอยู่ในตัวของชิ้นงาน ความเค้นที่เกิดขึ้นนี้มากจากความหนาของชิ้นงานนั้นเอง สามารถที่จะสังเกตุได้จากรูปที่ 2.3 จะเห็นว่าความเค้นที่อยู่ในช่วง Elastic จะอยู่ตรงด้านในใกล้เส้นกึ่งกลางของวัสดุ ส่วนช่วงที่เป็น Plastic จะอยู่ในช่วงด้านนอกหรือตรงผิวของชิ้นงาน ฉะนั้นเมื่อวัสดุไม่สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในช่วง Plastic ได้ทั่วทั้งชิ้นทดสอบการเกิดการดีดกลับเมื่อทำการพับวัสดุก็สามารถที่เกิดขึ้นได้เสมอ จากการทดสอบ ทั้งทางด้านทฤษฎีและทางด้านปฏิบัติ ซึ่งสามารถนำไปหาค่าการดีดกลับของวัสดุชนิดอื่นๆ และนำค่าที่ได้ไปทดแทนเพื่อชดเชยองศาการดีดกลับที่เกิดขึ้นได้ดังเช่นกราฟที่ทำการทดลองไปข้างต้น จากกราฟที่ 3.1,3.2 จะเห็นว่าค่าการคำนวณที่ได้จากสมการ 2.14,2.15 มีความแตกต่างกับทางปฏิบัติเล็กน้อย แนวทางของกราฟไปในทิศทางเดียวกัน การเกิด Springback จะมีมากในช่วง 10-40 องศาหลังจากนั้น Springback จะลดลงมาเลื่อยๆ ทั้งนี้มาจากวัสดุอยู่ในช่วง Plastic วัสดุจะยืดตัวออกจนเลยจุด Yield strength จากกราฟที่ 3.3 แสดงค่า Ks (Springback) ที่เกิดขึ้นจากทางทฤษฎีและการทดลองของวัสดุ S50C ขนาด 1 mm. จากกราฟจะเห็นว่าค่าที่ออกมาแตกต่างจากกราฟตัวอื่น ค่าของ Ks ในทางปฏิบัติมีค่ามากในช่วง 10-20 และจะน้อยกว่าทฤษฎีในช่วง 30-90 ทั้งนี้มาจากจุด Yield strength ของวัสดุมีค่าน้อยกว่าทำให้วัสดุยืดตัวมาก ทางทฤษฎี จากกราฟที่ 3.4 เส้นกราฟใกล้เคียงกัน แสดงว่าทั้งทางด้านการทดลองและทฤษฎีไปในทางเดียวกัน จากการนำค่าของ Ks มาชดเชยในวัสดุ SPCC มีความใกล้เคียงกับในทางปฏิบัติ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าความเค้นในเนื้อวัสดุเกิดการดีดกลับและค่าการดีดกลับนั้นคงที่ทำให้สามารถมาชดเชยและนำมาใช้งานจริง ทางด้านวัสดุ S50C ซึ่งมีค่าความเค้นมากกว่าวัสดุ SPCC ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจะเห็นว่าต้องทำการชดเชยมากกว่า จะเห็นว่าทางด้านปฏิบัติสูงกว่าทางด้านทฤษฎี ทั้งนี้เกิดจาก การขึ้นรูปวัสดุจริงมีค่ามากกว่าทางทฤษฎี

4.สรุป

1. วัสดุที่มีค่า Yield strength ต่างกันการเกิด Ks ต่างกัน โดยที่ Yield strength สูง Ks ต่ำเมื่อเทียบในองศาเดียวกัน
2. เมื่อพับวัสดุเลยจุด Elastic ถึงช่วง Plastic แล้ววัสดุยังสามารถดีดกลับได้
3. การดีดกลับของวัสดุเกิดจากความเค้นตกค้างที่มีอยู่ในเนื้อวัสดุ
4. ความหนาของวัสดุมีผลต่อการเกิด Springback
5. ค่า Ks ในแต่ละช่วงองศา จะลดลงเมื่อองศาการพับมากขึ้น
6. ค่า Ks ที่ได้สามารถนำมาชดเชยการเกิด Springback ได้ดีในวัสดุที่มีค่า Yield strength ต่ำ
7. ค่า Ks ที่ได้แทนค่าในสมการที่ 2.2 นำค่าที่ได้ไปเพิ่มในองศาที่ทำการพับจะได้องศาในการพับจริง

5.กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเนื่องจากได้รับคำแนะนำจากท่านคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Kalpakjian,S.,"Manufacturing Processes for Engineering Meterials,"4 th Ed.,Assison Wesley, 1997.

[2] Nan Song, Dong Qian, Jian Cao, Wing Kam Liu,"Effective Models for Prediction of Springback in Flanging,"Transactions of the ASME, 456/Vol.123,October 2001

[3] Chanatip Chaidilokpattanakul, Masahito Tanaka, Cheng-Tiao Hsieh, Deng Yong,"Experiment Report Springback"

[4] H.-M. Huang, S.-D. Liu, S.Jiang,"Stress and Strain Histories of Multiple Bending –Unbending Springback Proess," Transactions of the ASME, 384/Vol.123,October 2001

[5] R.H. Sturges,"Desingn of a Vernier Punch and Die Set for Single-Minute Bending Set-Ups," Transactions of the ASME, 396/Vol.117,September 1195

[6] ศ.ดร.วริทธิ์ อึ๊งภากรณ์ และ รศ.ชาญ ถนัดงาน, "Machine Design 1,"Science,Engineering&Education, ปี พ.ศ. 2537, หน้า 0-96,363