

การศึกษาพฤติกรรมการดีดกลับของแผ่นเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษ A Study of the Springback Effect in Ultra High Strength Steel Sheet

ณัฐกร แซ่เอี้ยว¹, ชาญ ถนังงาน², กัมปนาท ศิริเวทิน³, วิชิต บัวแก้ว⁴ และ ยงยุทธ เนียมทรัพย์⁵

^{1,2} ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800
³ บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ 10800

⁴ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องครักษ์ จ.นครนายก 26120

⁵ บริษัท สามมิตรมอเตอร์สแมนูแพคเจอรัง จำกัด (มหาชน) จ.สมุทรสาคร 74130

*ติดต่อ: eaw.nuttakorn@gmail.com, เบอร์โทรศัพท์: +668-8645-7333

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการดีดกลับของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษโดยกระบวนการตัดด้วยแม่พิมพ์รูปตัวยู ตัวแปรที่ศึกษาคือรัศมีพื้นที่และแรงกดแบบลงกิโลเดออร์ วัสดุที่ใช้ในการวิจัยคือ SPCN590R 1.2 mm และ JSC780Y 1.0 mm ออกแบบและสร้างแม่พิมพ์ตัดโดยอ้างอิงตามคำแนะนำของ NUMISHEET ปี 2011 เป็นเกณฑ์กำหนดขนาดรูปทรงของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ วัดมุมการดีดกลับของวัสดุภายหลังกระบวนการตัดขึ้นรูปและคำนวณค่าอัตราส่วนการดีดกลับของวัสดุ เพื่อใช้เปรียบเทียบและแสดงแนวโน้มพฤติกรรมการดีดกลับของวัสดุ

ผลการวิจัยพบว่า พฤติกรรมของมุมการดีดกลับจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อวัสดุที่ใช้ทดลองมีค่าความต้านแรงครากสูงชิ้นตัวแปรที่ศึกษาแสดงอิทธิพลของรัศมีพื้นที่ต่อการดีดกลับพบว่ามุมการดีดกลับจะเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของรัศมีพื้นที่ใหญ่ขึ้นและอิทธิพลของแรงกดแบบลงกิโลเดออร์พบว่ามุมการดีดกลับลดลงเมื่อแรงกดมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่าอัตราส่วนการดีดกลับของวัสดุจากการคำนวณจะมีค่าลดลงเมื่อมุมดีดกลับของชิ้นงานมีค่าเพิ่มมากขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยแสดงถึงความแตกต่างของมุมการดีดกลับซึ่งมีประโยชน์ในการคาดการณ์มุมดีดกลับของวัสดุเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษได้

คำหลัก: เหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษ, การดีดกลับ, กระบวนการตัดรูปตัวยู

Abstract

The objective of this research is to investigate the springback effect while using the Ultra high strength steel in U-bending process. In the experiment, the changing of forming parameters were conducted such as punch radius and blank holder force, the experimental materials in this study were SPCN590R 1.2 mm and JSC780Y 1.0 mm. According to the procedure, the experiment was conducted by specially designed of U-bending die, the U-shaped cross-sections refer to the NUMISHEET 2011, the benchmark for controlling the dimensions of tool geometry. Springback angles after bending process were measured and calculated to springback factor for comparing and presenting the tendency of springback effect.

Due to the experimental results, the springback angle will increase when the material which has higher yield strength. From the studied parameters, the influence of punch radius was found the increasing punch radius will increase the springback angle, and the influence of blank holder force was found that increasing blank holder force will decrease the springback angle. The springback factor value of the calculation will decrease when the springback angle increase. The results showed the difference of springback angles in each materials, which is useful for predicting springback effect of the Ultra high strength steel.

Keywords: Ultra High Strength Steel, Springback, U-bending process

1. บทนำ

เหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษ (Ultra High Strength Steel, UHSS) กำลังเป็นที่ยอมรับในโรงงานอุตสาหกรรมของประเทศไทยเพื่อผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ส่วนประกอบที่ผลิตด้วยเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบาว่าเหล็กกล้าทั่วไปเพราะวัสดุมีค่าอัตราส่วนความแข็งแรงต่อน้ำหนัก (Strength to weight ratio) สูงกว่า รถยนต์ที่ผลิตด้วยวัสดุนี้จะมีน้ำหนักลดลงและคงความแข็งแรงของโครงสร้างทำให้มีความปลอดภัยเพิ่มขึ้นและเพิ่มประสิทธิภาพการเผาไหม้ของน้ำมัน [1] วัสดุเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษโดยทั่วไปหมายถึงเหล็กกล้าที่มีค่าความต้านแรงที่สูง ดังนั้นจำเป็นต้องใช้แรงจำนวนมากในการขึ้นรูปชิ้นงาน และปัญหาสำคัญในการผลิตชิ้นงานด้วยวัสดุเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษนี้คือการติดกลับภายหลังกระบวนการขึ้นรูป

การติดกลับมักเกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปเย็น โดยเฉพาะการขึ้นรูปโลหะแผ่น ปรากฏการณ์การติดกลับเกิดขึ้นได้ในกระบวนการดัด (Bending) เริ่มเกิดขึ้นเมื่อผิวของเครื่องมือสัมผัสกับผิวของชิ้นงานและเมื่อผิวของเครื่องมือเคลื่อนที่ออกจากผิวของชิ้นงานเรียกว่าสภาวะไม่มีการดัด (Unbending) ทำให้ชิ้นงานดัดตัวกลับในสภาวะไม่มีการดัดนี้ [2] อธิบายได้ว่าเมื่อโลหะเสียรูปในช่วงพลาสติก ความเครียดภายในเนื้อโลหะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนความเครียดยืดหยุ่นและส่วนความเครียดพลาสติก เมื่อนำเครื่องมือออกจากผิวของชิ้นงานหมายถึงนำแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปออกความเค้นในชิ้นงานจะลดลงและปริมาณความเครียดทั้งหมดจะลดลงโดยเป็นส่วนของความเครียดยืดหยุ่น ซึ่งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นคือการคืนตัวยืดหยุ่น (Elastic recovery) หรือการติดกลับทำให้ชิ้นงานจะเสียรูปร่างไปจากแบบที่ต้องการ [3] การศึกษาปรากฏการณ์การติดกลับมีความสำคัญมาก เพราะข้อมูลจากการศึกษาหรือทดลองนั้นสามารถช่วยวิศวกรในการคาดการณ์การติดกลับในขั้นตอนการออกแบบและผลิตแม่พิมพ์เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดขึ้น

T. Da Silva Bolelho et al. ศึกษาพฤติกรรมกรรมการติดกลับด้วยวิธีการทดลองและวิธีจำลองด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ วัสดุเหล็กกล้า Mild steel และ Hadfield steel ถูกนำมาใช้ในการทดลองด้วยการควบคุมแรงกดแบบล็กโฮลเตอร์ 2 ระดับ [4] Ihab Ragai et al. ทดลองหาผลกระทบของการติดกลับของวัสดุเหล็กกล้าไร้สนิม

410 โดยตัวแปรที่ใช้คือความหนาของชิ้นงาน, แรงเสียดทานและแรงกดแบบล็กโฮลเตอร์ [5] M. Samuel ศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่ใช้ในการขึ้นรูปเพื่อสังเกตการเสียรูปร่างของชิ้นงานภายหลังกระบวนการขึ้นรูป ตัวแปรที่ศึกษาคือ ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน, รูปร่างของแม่พิมพ์และแรงกดแบบล็กโฮลเตอร์ [6] จากการศึกษาทั้งหมดการติดกลับนั้นมีปัจจัยมาจากหลายๆตัวแปรเช่นสมบัติของวัสดุ, ความหนาของชิ้นงาน, ปริมาณการเสียรูปในช่วงพลาสติก, รูปร่างของแม่พิมพ์, แรงเสียดทานและเงื่อนไขที่ใช้ในการขึ้นรูป [7]

เป้าหมายของงานวิจัยนี้คือศึกษาพฤติกรรมกรรมการติดกลับของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษ โดยผลลัพธ์แสดงความสัมพันธ์ของการติดกลับกับรูปร่างของแม่พิมพ์และแรงกดของแบบล็กโฮลเตอร์

ขั้นตอนการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

เลือกใช้วัสดุเป็นเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษ (UHSS) เปรียบเทียบกับเหล็กกล้าความต้านแรงสูง (HSS) ที่ใช้งานทั่วไป โดยวัสดุที่ใช้ในการทดลองคือ JSC780Y 1.0 mm, SPCN590R 1.2 mm และ JSC440W 1.2 mm เรียงตามลำดับ ซึ่งเป็นวัสดุที่โรงงานผลิตชิ้นส่วนยานยนต์เป็นผู้สนับสนุนต้องการให้ศึกษา ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบมาตรฐานของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษ

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบมาตรฐานเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษ

มาตรฐานเหล็กกล้า			
ASTM	JFS	MES	JIS
A607	A2001	MM106	G3135
Grade 45	JSC440W	SPCN440W	SPFC440
Grade 60	JSC590R	SPCN590R	SPFC590
Grade 70	JSC780Y	SPCN780Y	SPFC780

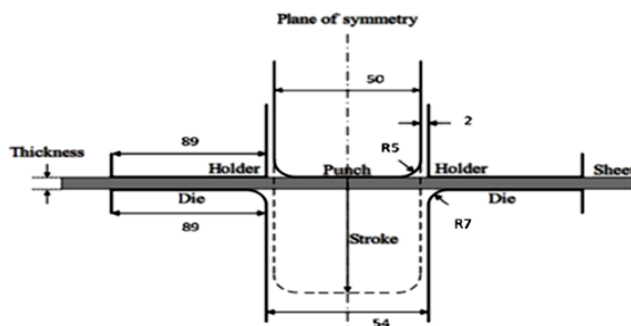
สมบัติทางกลของวัสดุเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษที่ใช้ในงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 2 และกำหนดให้ทิศทางการรีดของวัสดุมีทิศทางเดียวกับความยาวของแผ่นขึ้นทดลองเพื่อกำหนดผลกระทบของสมบัติแอนไอโซโทรปีให้เป็นไปในทิศทางเดียว การเสียรูปร่างของชิ้นงานหลังจากการทดลองจะถูกนำมาวิเคราะห์พฤติกรรมของการติดกลับภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบสมบัติทางกลของวัสดุในมาตรฐาน JIS G3135

มาตรฐาน อื่นๆ	มาตรฐาน JIS	สมบัติทางกลของวัสดุ		
		YS (MPa)	TS (MPa)	%E
JSC440W	SPFC440	265	440	27
SPCN590R	SPFC590	355	590	18
JSC780Y	SPFC780	530	790	16

2.2 กระบวนการตัด

กระบวนการตัดรูปตัวยู, ตัววีและตัวแอล (U, V and L Shaped) นิยมนำมาใช้ในการศึกษาพฤติกรรมการตีกลับ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้กระบวนการตัดรูปตัวยู เนื่องจากการตัดขึ้นรูปชิ้นงานเป็นรูปตัวยูมีการเสีรูปร่างภายในของเนื้อโลหะที่มีความซับซ้อนมากกว่ารูปแบบอื่น และรูปร่างแบบตัวยูมีลักษณะคล้ายกับชิ้นงานประเภท Panel, Channel และ Beam [7]

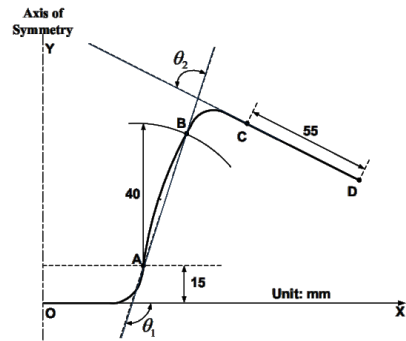


รูปที่ 1 ขนาดของแม่พิมพ์ตัดรูปตัวยูตามคำแนะนำของ NUMISHEET ปี 2011

การจำลองกระบวนการตัดขึ้นรูปตัวยู เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองคือแม่พิมพ์ตัด นักวิจัยหลายท่านทำการศึกษโดยเครื่องมือของพวกเขาที่มีลักษณะคล้ายกัน แต่แตกต่างกันที่ขนาดของแม่พิมพ์และวัสดุที่ใช้สร้าง ในงานวิจัยนี้เลือกการทดลองตัดขึ้นรูปตัวยูโดยอ้างอิงตามคำแนะนำของ NUMISHEET [8] เนื่องจากคำแนะนำได้กำหนดขนาดของเครื่องมือและเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง และกำหนดตำแหน่งเพื่อตรวจวัดมุมตีกลับของชิ้นงานที่ผ่านการทดลองตัดขึ้นรูป รูปที่ 1 แสดงขนาดของแม่พิมพ์ตัดรูปตัวยูตามคำแนะนำของ NUMISHEET ปี 2011

ชิ้นงานที่ผ่านการการทดลองตัดขึ้นรูปจะแสดงการตีกลับ รูปร่างตัวของชิ้นงานจะเปลี่ยนไปจากแบบของ

แม่พิมพ์ การหาขนาดของมุมการตีกลับอ้างอิงตามคำแนะนำของ NUMISHEET แสดงในรูปที่ 2



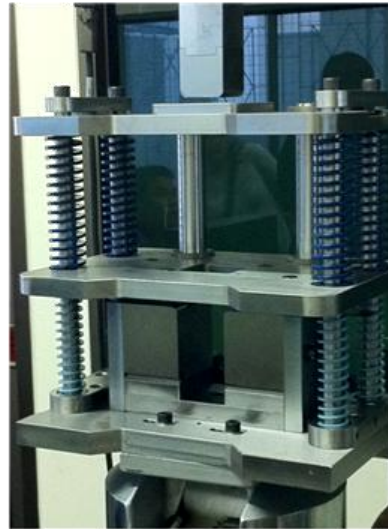
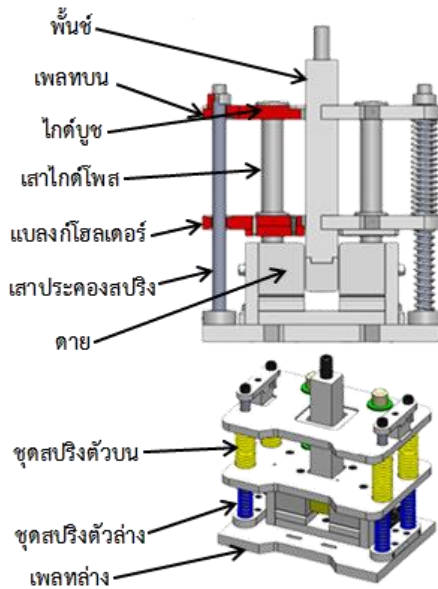
รูปที่ 2 ตำแหน่งของมุมการตีกลับที่ทำการวัด

2.3 เครื่องมือและการทดลอง

แม่พิมพ์ตัดรูปตัวยูติดตั้งกับเครื่องทดสอบแบบระบบไฮดรอลิกส์ของ MTS รุ่น 810 (Tensile testing machine) หลักการทำงานแบบหนึ่งจังหวะ (Single action) กำลังของเครื่องทดสอบเท่ากับ 250 kN

รูปที่ 3 คือแม่พิมพ์ตัดรูปตัวยูที่ใช้ในการทดลอง ส่วนประกอบหลักของแม่พิมพ์ประกอบไปด้วย ดาย, ฟันซ์, แบลงก์โฮลเตอร์, เฟลทบนและเฟลทล่าง มีแผ่นของแบลงก์โฮลเตอร์สามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างอิสระภายในเสาไกด์โพสทั้ง 2 เสาซึ่งยึดติดไว้กับเฟลทล่างของแม่พิมพ์ การประกอบแม่พิมพ์เป็นการประกอบแบบสวมพอดีในชิ้นส่วนที่ต้องประกอบกันและมีการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนไกด์โพสและไกด์บูช อุปกรณ์ที่ใช้ในการประกอบแม่พิมพ์เลือกใช้เป็นชิ้นส่วนมาตรฐาน ชุดสปริงตัวล่างทำหน้าที่ประคองแผ่นแบลงก์โฮลเตอร์เพื่อสร้างช่องว่างระหว่างผิวสัมผัสของแบลงก์โฮลเตอร์กับผิวของดายจะได้สะดวกในการวางชิ้นงานและนำออกจากแม่พิมพ์โดยง่าย ชุดสปริงตัวบนมีหน้าที่ส่งผ่านกำลังเพื่อสร้างแรงกดของแบลงก์โฮลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง เสาประคองสปริงทั้งหมดมีจำนวน 4 เสาถูกยึดติดไว้ที่เฟลทล่างเช่นกัน

วัสดุที่ใช้ผลิตแม่พิมพ์ตัดรูปตัวยู ชิ้นส่วนเฟลททั้ง 3 ชิ้นได้แก่ แผ่นเฟลทบน, แผ่นเฟลทล่างและแผ่นแบลงก์โฮลเตอร์ผลิตจากเหล็กกล้าเครื่องมือ S50C ชิ้นส่วนของฟันซ์และดายผลิตจากเหล็กกล้า SKD11 และผ่านการรมวิธีชุบแข็งทั้งชิ้น (Full hardening) จนมีค่าความแข็ง 58 HRC จากนั้นนำมาเคลือบผิวแข็งด้วยโครเมียม (Hard chrome) กำหนดค่าความหนาของผิวเคลือบ 50 μm



รูปที่ 3 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ตัดรูปด้วยและการติดตั้ง

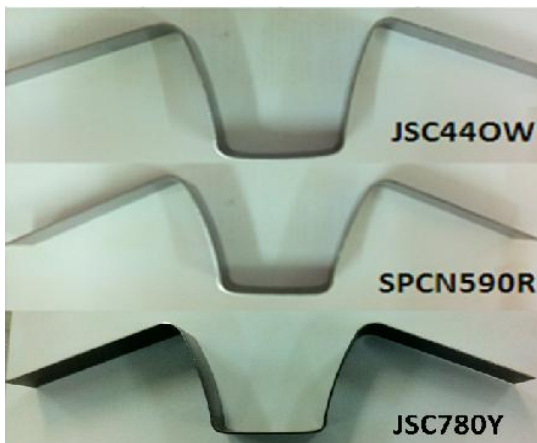
อธิบายหลักการทำงานของแม่พิมพ์ เริ่มต้นเมื่อนำชิ้นงานมาวางบนผิวคาย เหล็กท่อนเคลื่อนที่ลงมาสร้างแรงกดแบลงก์โฮลเตอร์ผ่านชุดสปริงตัวบนโดยกดลงบนชิ้นงาน รักษาแรงกดแบลงก์โฮลเตอร์ให้คงที่เมื่อได้ระดับแรงที่ต้องการ พันช์เคลื่อนที่ลงมากดชิ้นงานเพื่อทดลองตัดขึ้นรูป ระยะทางของพันช์ในการทดลองเริ่มต้นเมื่อสัมผัสกับผิวของชิ้นงานจนถึงสิ้นสุดระยะทางที่ความยาว 71.8 mm แล้วเคลื่อนที่กลับ ความเร็วของพันช์คือ 1 mm/s แรงกดของแบลงก์โฮลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ 2943, 4500 และ 6000 N ขนาดชิ้นงานที่ใช้ในการทดลองคือ 360 x 30 x ความหนาของชิ้นงาน mm

ชิ้นงานที่ผ่านการทดลองตัดขึ้นรูปด้วยแสดงดังรูปที่ 4 มีการติดกลับแสดงให้เห็นชัดเจน ขนาดมุมการติดกลับมีค่ามากที่สุดคือชิ้นงานของ JSC780Y และค่าน้อยที่สุดคือ JSC440W ตำแหน่งการวัดมุมการติดกลับเพื่อหาค่าของมุม θ_1 และ θ_2 ปฏิบัติตามคำแนะนำของ NUMISHEET ในรูปที่ 2

3. ผลการทดลอง

3.1 แรงตัด

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงตัดที่ใช้ในการขึ้นรูปกับระยะทางที่พันช์เคลื่อนที่ได้มาจาก load cell ของเครื่องทดสอบแรงดึง กระบวนการตัดเริ่มต้นเมื่อพันช์สัมผัสกับผิวของชิ้นงานแล้วเคลื่อนที่ลง ระดับของค่าแรงตัดมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อการเสียรูปของโลหะอยู่ในช่วงยืดหยุ่น จนถึงค่าแรงตัดสูงสุด ณ จุดสูงสุดของเส้นกราฟเป็นการเสียรูปของโลหะเข้าสู่ช่วงพลาสติก หลังจากนั้นแรงดัดลดลงเล็กน้อยเมื่อเกิดการเสียรูปของชิ้นงานอย่างสมบูรณ์ แต่เนื่องจากพันช์ยังคงพาชิ้นงานไหลลงภายในแม่พิมพ์ ดังนั้นแรงดัดจึงมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและคงที่ตลอดจนถึงสิ้นสุดระยะทางการเคลื่อนที่ของพันช์

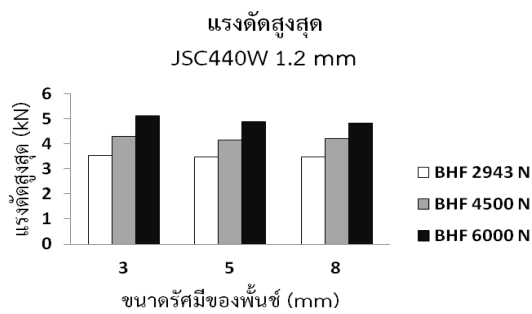


รูปที่ 4 ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการตัดขึ้นรูปด้วย การทดลองโดยแรงกดแบลงก์โฮลเตอร์ขนาด 2943 N และรัศมีพันช์ขนาด 5 mm

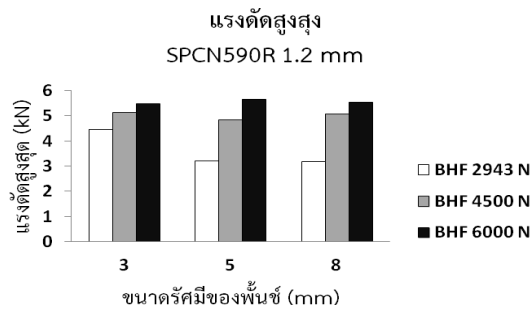
จากการทดลองตัดขึ้นรูปด้วยพบว่า SPCN590R ใช้แรงดัดสูงสุดในการขึ้นรูปสูงที่สุด แม้ว่า JSC780Y จะมีความต้านแรงดึงของวัสดุสูงกว่าแต่เพราะความหนาของชิ้นงานที่ใช้ทดลองมีค่าน้อยกว่าจึงทำให้ได้แรงดัดสูงสู้น้อยกว่า และเมื่อนำ SPCN590R มาเปรียบเทียบกับ JSC440W จะพบว่าวัสดุที่มีค่าความต้านแรงดึงสูงจะต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูงเช่นกันแสดงในรูปที่ 5

ตารางที่ 3 ผลการทดลอง

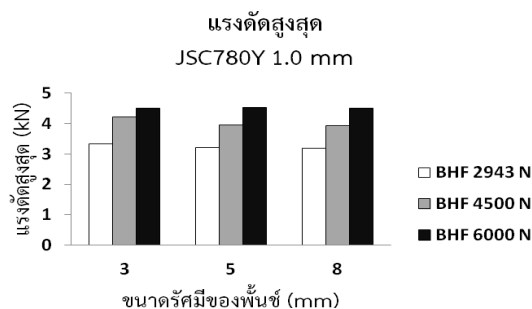
วัสดุที่ใช้ทดลอง	ความหนา (mm)	มุม θ	แรงกดแปลงกิโลเดออร์ 2943 N			แรงกดแปลงกิโลเดออร์ 4500 N			แรงกดแปลงกิโลเดออร์ 6000 N		
			รัศมีพินซ์ (mm)			รัศมีพินซ์ (mm)			รัศมีพินซ์ (mm)		
			3	5	8	3	5	8	3	5	8
JSC440W	1.2	1	102.7	103.3	104.0	102.2	103.0	103.1	101.9	102.0	102.3
		2	82.7	83.3	84.0	83.0	84.3	84.1	83.5	84.7	84.3
SPCN590R	1.2	1	107.0	108.0	108.3	106.3	106.7	107.3	105.4	106.0	106.5
		2	81.0	82.2	82.4	82.3	82.8	83.5	82.8	83.7	84.3
JSC780Y	1.0	1	118.4	120.0	121.5	117.9	118.7	120.7	117.3	118	118.7
		2	76.7	77.2	77.6	77.2	77.8	78.7	78.4	78.9	79.0



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดัดสูงสุดกับรัศมีของพินซ์และแรงกดแปลงกิโลเดออร์

(ก) JSC440W, (ข) SPCN590R และ (ค) JSC780Y

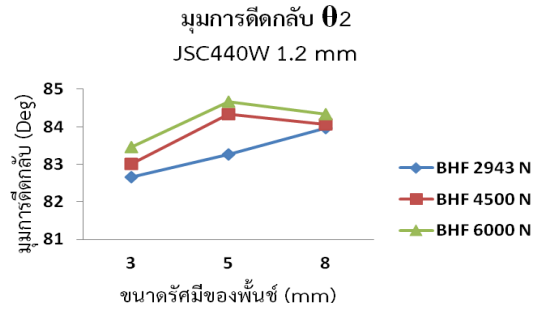
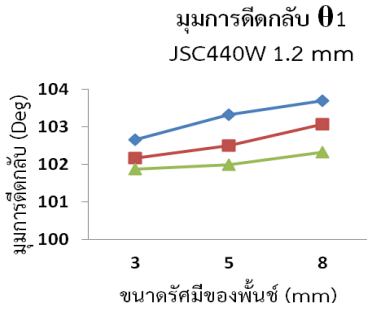
อิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษา รัศมีของพินซ์ที่ใช้ในการทดลองมีค่า 3, 5 และ 8 mm พบว่าแรงดัดสูงสุดที่ใช้ในการขึ้นรูปมีค่าลดลงเมื่อขนาดรัศมีของพินซ์มีค่าเพิ่มขึ้น และการทดลองศึกษาตัวแปรแรงกดแปลงกิโลเดออร์ที่ค่า 2943, 4500 และ 6000 N วัสดุทั้ง 3 ชนิดแสดงให้เห็นค่าแรงดัดสูงสุดที่ใช้ในการขึ้นรูปเพิ่มขึ้นเมื่อทดลองให้แรงกดแปลงกิโลเดออร์สูงขึ้น

3.2 อิทธิพลของรัศมีพินซ์ต่อการตีดกลับ

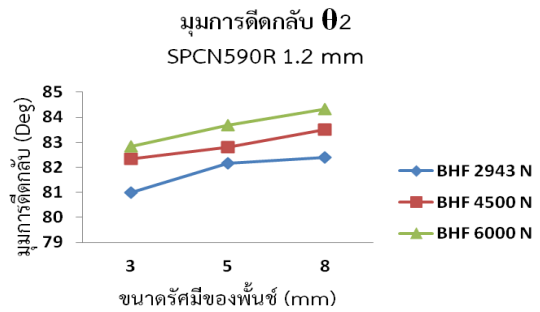
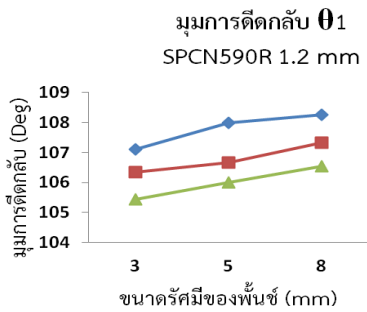
ชิ้นงานเมื่อนำออกจากแม่พิมพ์ภายหลังจากดัดขึ้นรูปบริเวณที่ถูกดัดเกิดการเสียรูปและแสดงปรากฏการณ์การคืนตัวยืดหยุ่น ชิ้นงานเสียรูปไปจากแบบที่ต้องการเกิดเป็นมุมการตีดกลับ อ้างอิงคำแนะนำของ NUMISHEET ปี 2011 ที่แสดงในรูปที่ 2 เพื่อใช้หาขนาดมุมการตีดกลับ θ_1 และ θ_2 กรณีที่ไม่มีการตีดกลับมุมการตีดกลับทั้ง 2 จะมีค่าเท่ากับ 90 องศา มุมการตีดกลับของชิ้นงานที่ได้จากการทดลองพบว่า θ_1 มีขนาดมากกว่า 90 องศาและส่งผลกระทบต่อขนาดของมุม θ_2 ให้มีขนาดน้อยกว่า 90 องศา ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งแล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ยโดยใช้เงื่อนไขในการทดลองตามที่กำหนด

จากการทดลองพบว่า JSC780Y ซึ่งเป็นวัสดุที่มีความต้านแรงดึงสูงที่สุดมีขนาดของมุมการตีดกลับ θ_1 มากที่สุดและ JSC440W มีขนาดของมุมการตีดกลับน้อยที่สุด ค่าความต้านแรงดึงเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อการตีดกลับของชิ้นงาน โดยถ้าค่าความต้านแรงดึงสูงขึ้นเมื่อทดลองดัดขึ้นรูปชิ้นงานจะเกิดการคืนตัวยืดหยุ่นบริเวณที่เกิดการเสียรูปของเนื้อโลหะก็จะมีค่าสูงดังนั้นการตีดกลับจึงเพิ่มขึ้น

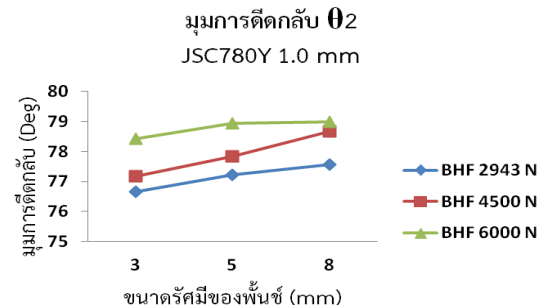
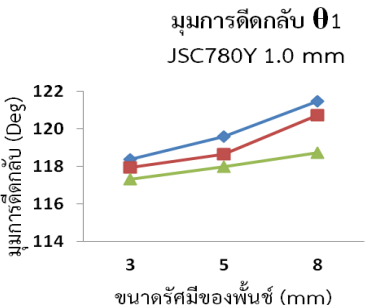
อิทธิพลของรัศมีพินซ์ที่ใช้ในการทดลอง พบว่าขนาดของมุมการตีดกลับ θ_1 มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดรัศมีของพินซ์เพิ่มขึ้น การทดลองดัดขึ้นรูปที่ใช้รัศมีพินซ์ขนาดเล็กนั้น



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 6 การเปรียบเทียบมุมตีกลับ θ_1 และ θ_2 กับรัศมี 펀ช์และแรงกดแบบลงกิโลเดออร์
(ก) JSC440W, (ข) SPCN590R และ (ค) JSC780Y

จะเกิดการต้านทานการไหลของเนื้อโลหะ เกิดการยืดขึ้นรูปบริเวณที่เสีรูปรอบรัศมีของ 펀ช์ทำให้จำนวนความเครียดพลาสติกเกิดขึ้นมากจึงทำให้ลดปริมาณการคืนตัวยืดหยุ่นได้ช่วยลดการตีกลับได้ วัสดุที่ใช้ทดลองทั้ง 3 ชนิดแสดงอิทธิพลของรัศมีของ 펀ช์ต่อการตีกลับไปในทิศทางเดียวกัน

3.3 อิทธิพลของแรงกดแบบลงกิโลเดออร์ต่อการตีกลับ

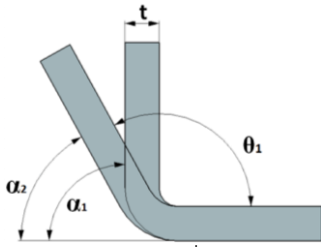
ค่าของมุมการตีกลับภายหลังกระบวนการดัดขึ้นรูปตัวยูพบว่าเมื่อเพิ่มขนาดของแรงกดแบบลงกิโลเดออร์นั้นสามารถลดการตีกลับของชิ้นงานได้ โดยการเพิ่มขนาดแรงกดแบบลงกิโลเดออร์จะทำให้เกิดการยืดขึ้นรูปภายในเนื้อโลหะเพิ่มมากขึ้น เป็นการเพิ่มค่าความเครียดในช่วง

พลาสติกของชิ้นงาน มุมการตีกลับได้แสดงในรูปที่ 6 วัสดุที่มีขนาดของมุมการตีกลับสูงมากที่สุดคือ JSC780Y, SPCN590R และ JSC440W เรียงตามลำดับวัสดุทั้ง 3 ชนิดแสดงพฤติกรรมเหมือนกันเมื่อการทดลองเพิ่มขนาดแรงกดแบบลงกิโลเดออร์

3.4 อัตราส่วนการตีกลับของวัสดุ

การเปรียบเทียบการตีกลับของวัสดุทั้ง 3 ชนิดโดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ผลการทดลองพบว่ากรณีที่ไม่มีการตีกลับมุม θ_1 และ θ_2 ต้องมีขนาดเท่ากับ 90 องศาตามที่กำหนด ลักษณะความสัมพันธ์ของมุมการตีกลับที่เกิดขึ้นคือมุม θ_1 มีขนาดเพิ่มขึ้นทำให้มุม

θ_2 จะมีขนาดลดลง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงพิจารณาคำนวณค่าอัตราส่วนการติดของวัสดุที่มุมการติดกลับ θ_1 เพราะเป็นมุมที่มีความสำคัญถือเป็นตัวกำหนดรูปร่างของชิ้นงาน

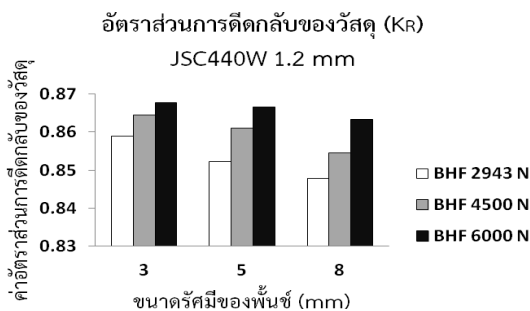


รูปที่ 7 ตำแหน่งของมุมเพื่อคำนวณอัตราส่วนการติดกลับของวัสดุ

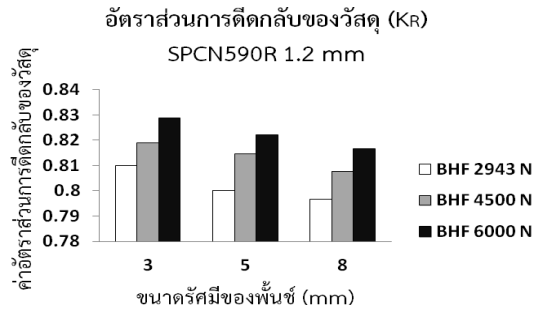
จากรูปที่ 7 แสดงมุมการติดกลับของชิ้นงานที่ได้หลังจากการทดลอง α_1 คือมุมที่ต้องการตัดหรือมุมของแม่พิมพ์ตัด α_2 คือมุมที่แสดงการติดกลับของชิ้นงานโดยนำมาคำนวณหาอัตราส่วนการติดกลับของวัสดุแต่ละชนิดตามสมการที่ 1 [9]

$$K_R = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{(r_1 + 0.5t)}{(r_2 + 0.5t)} \quad (1)$$

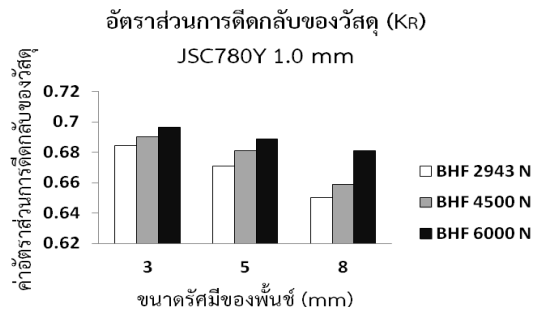
จากรูปที่ 8 พบว่า JSC780Y มีอัตราส่วนการติดกลับต่ำกว่า SPCN590R และ JSC440W เรียงตามลำดับที่ขนาดรัศมีของพื้นซ์มีค่าเท่ากัน วัสดุที่มีค่าความต้านแรงดึงสูงกว่าจะมีการติดกลับสูงเมื่อคำนวณหาอัตราส่วนการติดกลับจะได้ค่าน้อย ในกรณีที่ไม่มีการติดกลับเกิดขึ้นค่าอัตราส่วนการติดกลับนี้ต้องมีค่าเท่ากับ 1 การทดลองเมื่อเพิ่มขนาดของรัศมีพื้นซ์พบว่าค่าอัตราส่วนการติดกลับของวัสดุมีทิศทางลดลงเนื่องจากมุมการติดกลับของชิ้นงานมีค่าเพิ่มขึ้น แต่อิทธิพลของแรงกดแบบลงกิโลเดออร์นั้นสามารถเพิ่มค่าอัตราส่วนนี้ให้มีค่าสูงขึ้นได้เมื่อเพิ่มขนาดของแรงกด พิจารณาจากกราฟที่ได้จากการทดลอง



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 8 อัตราส่วนการติดกลับของวัสดุต่อรัศมีพื้นซ์ และแรงกดแบบลงกิโลเดออร์ (ก) JSC440W, (ข) SPCN590R และ (ค) JSC780Y

4. สรุป

ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองศึกษาพฤติกรรมการติดกลับของเหล็กกล้าความต้านแรงสูงพิเศษเปรียบเทียบกับเหล็กกล้าความต้านแรงสูงทั่วไป โดยใช้วัสดุที่มีค่าความต้านแรงแตกต่างกันพบว่าวัสดุที่มีค่าความต้านแรงสูงจะมีการติดกลับสูงและต้องใช้แรงในการขึ้นรูปสูงเช่นกัน

อิทธิพลของรูปร่างของเครื่องมือโดยการเปลี่ยนแปลงขนาดรัศมีของพื้นซ์พบว่ารัศมีขนาดเล็กสามารถลดการติดกลับของชิ้นงานได้เพราะทำให้การเสีรูของโลหะเป็นแบบการยึดขึ้นรูปและส่งผลให้ต้องใช้แรงจำนวนมากในการขึ้นรูป

อิทธิพลของเงื่อนไขในการขึ้นรูปโดยการเพิ่มขนาดแรงกดแบบลงกิโลเดออร์ทำให้เกิดความเค้นภายในเนื้อโลหะเพิ่มมากขึ้น ช่วยลดการคืนตัวยืดหยุ่นหรือการติดกลับของชิ้นงานได้

ค่าอัตราส่วนการติดกลับของวัสดุสามารถนำมาใช้เปรียบเทียบการติดกลับจากอิทธิพลของตัวแปรที่ศึกษา

ข้อมูลที่ได้จากการคำนวณนั้นสามารถใช้แสดงพฤติกรรมของการตีกลับของวัสดุแต่ละชนิด

[9] Kurt lange. (1985). *Handbook of metal forming*, McGraw-Hill, New York

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Carlos Gomes, Oladipo Onipede, and Michel Locell. (2005). Investigation of springback in high strength anisotropic steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 159, 2005, pp 91-98
- [2] Oladipo Onipede, and Carlos J. Gomes. Springback in high strength anisotropic steel,
- [3] M. Kadkhodayan, and I. Zafarparandeh. (2009). An investigation into the influence of blank holder force on springback in u-bending, *Journal of Achievements of Metallurgy and Materials*, Volume 54, Issue4, 2009
- [4] T. Da Silva Botelho, E. Bayraktar, and G. Inglebert. (2006). Comparison of experimental and simulation results of 2D-draw-bend springback, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, Volume 18, Issue1-2, Sep-Oct, 2006
- [5] Ihab Ragai, Duraid Lazim, and James A. Nemes. (2005). Anisotropy and springback in draw-bending of stainless 410 : experimental and numerical study, *Journal of Materials Processing Technology*, 166, 2005, pp 116-127
- [6] M. Samuel. (2000). Experimental and numerical prediction of springback and side wall curl in u-bending of anisotropic sheet metals, *Journal of Materials Processing Technology*, 105, 2000, pp 382-393
- [7] P Sun, J.J. Gracio, and J.A. Ferreira. (2006). Control system of a mini hydraulic press for evaluating springback in sheet metal forming, *Journal of Materials Processing Technology*, 176, 2006, pp 55-61
- [8] Kwansoo Chung, Toshihiko Kuwabara, Rahul K. and Taejoon Park. (2011). BENCHMARK 4 - Pre-strain Effect on Spring-back of 2D Draw Bending, *NUMISHEET*, 2011