

การศึกษาพฤติกรรมความแข็งเครียดจากการเปลี่ยนรูปของเหล็กแผ่นรีดร้อน SAPH440

The Study Behavior of Strain Hardening for Forming Hot Rolling Sheet Metal SAPH440

เมธี จิตวิริยานนท์ และ ดิลก ศรีประไพ

Metee Jitwiriyanon and Dilok Sriprapai

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กรุงเทพมหานคร 10140

โทร. 02-470-9213 โทรสาร 02-872-9080

E-mail: dilok.sri@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาพฤติกรรมความแข็งเครียดจากการเปลี่ยนรูป และ โครงสร้างจุลภาคที่เปลี่ยนแปลงไปของเหล็กแผ่นรีดร้อน SAPH440 ในการดัดขึ้นรูปร่างตัวแอล ตัวยู และ ตัวยูมีปีก แล้วใช้การจำลองการขึ้นรูปขึ้นงาน โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อเปรียบเทียบกับงานขึ้นรูปจริง โดยศึกษาวัสดุที่มีความหนา 1.6, 2.0, 2.3, 2.6 และ 3.0 มม. โดยใช้แม่พิมพ์ที่มีรัศมีของฟันซ์ คือ 3, 4, 5, 6 และ 7 ส่วนรัศมีคานที่ใช้คือ 5, 6, 7, 8 และ 9 เพื่อนำผลของการทดลองทั้ง 3 รูปแบบ ของการเปลี่ยนแปลงก่อน และหลังการขึ้นรูป เพื่อศึกษาถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการขึ้นรูปขึ้นงาน และทำการเปรียบเทียบค่าตัวแปรรัศมีของแม่พิมพ์ กับความแข็งเครียดของบริเวณส่วนที่เกิดการเปลี่ยนรูปของความหนาขึ้นงาน และรูปร่างของขึ้นงานที่เปลี่ยนแปลงไปสามารถสรุปได้ว่ายิ่งมุมคัดน้อยจะเกิดความแข็งเครียดที่ขึ้นงานมากขึ้น มีผลทำให้บริเวณนั้น จะมีค่าความแข็งมากตามไปด้วย แล้วบริเวณที่เกิดความแข็งเครียดมากที่สุดคือบริเวณขอบที่เกิดการยึดตัว ส่วนบริเวณตรงกลางจะเกิดความแข็งเครียดน้อยมาก และส่วนบริเวณขอบที่เกิดการอัดตัว จะเกิดความแข็งเครียดน้อยกว่าขอบที่ถูกยึดตัวเล็กน้อย

Abstract

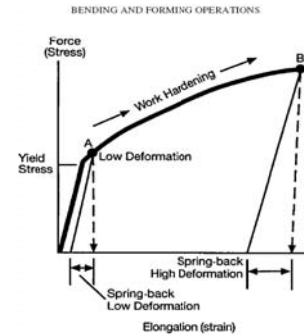
The objective of this project is to study behavior of strain hardening after forming and the microstructure is changing

for L-shaped, U-shaped, flange U-shaped bending of material, that metal is SAPH440 hot rolling steel sheet and the method of workpieces forming stimulation is finite-element method. It used to compare to the actual forming. The thicknesses of studied material are 1.6, 2.0, 2.3, 2.6 and 3.0 mm. The punch radiuses of using mold are 3, 4, 5, 6 and 7, and the radiuses of using die are 5, 6, 7, 8 and 9. The all test results of 3 patterns for changing, that it is occurred before and after forming, is to study factors that influence to workpieces forming, the variable value of mold radius is taken to compare to the strain hardening of partial area that form is changed of workpieces thickness and changed form of workpieces. In summary angle bending has more stain hardening of workpieces. It mean this area has hardness more than. And the area have a lot of stain hardening is tensile, the middle point has down stain hardening and boundary that compressive have down stain hardening boundary little tensile.

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมผลิตยานยนต์ในปัจจุบันมีการแข่งขันกันสูง โดยทางโรงงานอุตสาหกรรมยังขาดข้อมูลจากการวิจัยเพื่อปรับปรุงกระบวนการ และต้องการควบคุมค่าความแข็งของ Chassis ให้มากยิ่งขึ้นในบางครั้งจำเป็นต้องเพิ่มขั้นตอนการ

ผลิตเพื่อควบคุมคุณภาพชิ้นงาน ซึ่งทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นซึ่งในปัจจุบันนี้การสร้างแม่พิมพ์ต้องอาศัยผู้ที่มีประสบการณ์ในการทำงานที่ยาวนานเพื่อที่จะสามารถบอกประมาณค่าความแข็งของวัสดุ ซึ่งอาจส่งผลให้เกิดระยะเวลาในการแก้ไขที่นานและเสียค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงวิธีในการขึ้นรูปชิ้นงาน รูปตัวยู เพื่อที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับรูปร่างอื่น ๆ



รูปที่ 1 แสดงรูปกราฟ ความเค้น - ความเครียด

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.1 การไหลของโลหะในการดัดงอขึ้นรูป (Metal Flow for Bending)

เนื่องจากบริเวณการดัดงอมีความเค้น (Stress) เกิดขึ้นและทำให้เกิดการไหลตัวของโลหะ โดยเมื่อความเค้นดึง (Tensile Stress) เพิ่มสูงขึ้นจะทำให้ความหนาของชิ้นงานบริเวณการงอลดลงส่วนความเค้นอัดจะทำให้เกิดการไหลตัวของวัสดุไปเพิ่มความกว้างของชิ้นงานในบริเวณที่เกิดการงอลดลงส่วนความเค้นอัดจะทำให้เกิดการไหลตัวของวัสดุไปเพิ่มความกว้างของชิ้นงานในบริเวณที่เกิดการดัดงอ ซึ่งผลจากการไหลตัวเช่นนี้ทำให้เกิดการบิดงอทางพื้นที่หน้าตัดมาก แต่ในการดัดงอโลหะแผ่นจะไม่บิดงอมากนัก และความกว้างของชิ้นงานจะไม่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความกว้างของชิ้นงานมากกว่าความหนาหลายเท่าทำให้เกิดการต้านทานการเพิ่มตัวของโลหะจากแรงอัด ทำให้ความเค้นอัดไปเพิ่มทางด้านการดึงตัว ซึ่งทำให้ความหนาของชิ้นงานเกือบจะไม่เปลี่ยนแปลง

2.2 ความเครียดในการงอ

การทำนายความเครียด (Strain) เนื่องจากการงอเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบขั้นตอนการดัดงอและการปฏิบัติงานเราจึงต้องผลิตชิ้นงานให้มีความเครียดอยู่ในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร แต่ความเครียดจะต้องน้อยกว่าจุดยึดตัวที่ทำให้วัสดุนั้นขาดและความเครียดของแต่ละวัสดุนั้นจะมีผลต่อการยึดตัวกลับ โดยใช้สูตรส่วนระหว่าง R/t เมื่อ R คือรัศมีดัดของ Punch และ t คือความหนาของแผ่นงาน ซึ่งสามารถนำมาอธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในการงอแผ่นโลหะได้

2.3 การเกิดความเค้น / ความเครียดในแผ่นชิ้นงาน (Description of Stress / Strain in Bent Sheet)

ความเค้นที่เกิดขึ้นในชิ้นงานสามารถอธิบายได้จากแผนภาพความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Diagram) ของวัสดุ จากรูปหากแรงภายนอกกระทำจนเกิดความเค้นดึงที่จุด A ซึ่งเกินจุดยึดหยุ่นจำกัด (Yield Point) ทำให้อยู่ในช่วงพลาสติกที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรได้ การเปลี่ยนแปลงช่วงแรกยังคงอยู่ในช่วงการยึดหยุ่น (Elastic) และค่าความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด เมื่อชิ้นงานถูกทำให้เกิดการดัดงอจนเสร็จแล้ว ค่าความเค้นจะมีค่าเพิ่มขึ้นยิ่งดัดมากค่าความเค้นจะยิ่งมากขึ้น

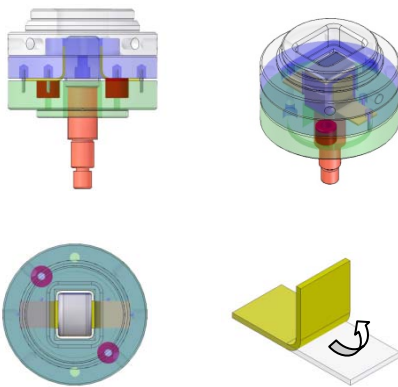


รูปที่ 2 การกระจายตัวขนาดเกรนของโลหะในการงอ

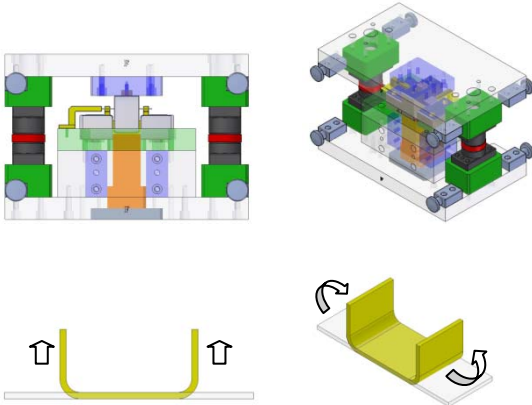
นอกจากนี้การเกิดการเปลี่ยนรูปของชิ้นงานยังสามารถอธิบายจากการกระจายตัวของขนาดเกรนภายในชิ้นงานที่ถูกดัดงอ เห็นได้ว่าบริเวณใกล้ผิวด้านใกล้ผิวด้านในจะถูกอัดตัวในทางกลับกันที่ผิวด้านนอกจะถูกยืดตัวออก และระหว่างผิวสองด้านนี้จะมีระนาบซึ่งไม่มีการอัด และดึงตัวเกิดขึ้นเราเรียกว่า เส้นแกนกลาง เมื่อมีการงอเกิดขึ้นความเค้นในผิวทั้งด้านนอกและด้านในจะเกิดด้านกันขึ้น โดยปกติความแข็งแรงทางการอัดตัวจะมากกว่าความแข็งแรงทางด้านดึงตัวของวัสดุเดียวกัน ความดันที่ใช้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรบริเวณผิวด้านนอกของชิ้นงาน แต่ความเค้นบริเวณผิวด้านในของชิ้นงานนั้นไม่ถึงจุดยึดหยุ่นจำกัด ดังนั้น

บริเวณด้านในของชิ้นงานจะพยายามกลับคืนสู่สภาพเดิมในเมื่อความเค้นคือแรงที่ต้านการกระทำในทิศทางตรงกันข้ามกับแรงภายนอกความเค้นอัดที่กระทำบริเวณผิวด้านใน ชิ้นงานจึงก่อให้เกิดการติดตัวกลับ “Spring Back” ของชิ้นงานซึ่งทิศทางตรงกันข้ามกับแรงภายนอกเช่นกัน

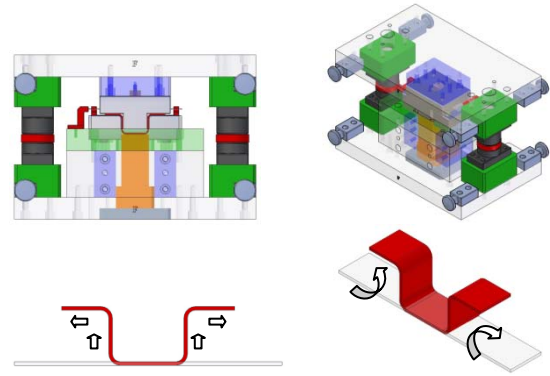
3. ออกแบบชุดแม่พิมพ์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3 แม่พิมพ์ขึ้นรูปตัวแอล



รูปที่ 4 แม่พิมพ์ขึ้นรูปตัวยู (แบบไม่มีปีก)



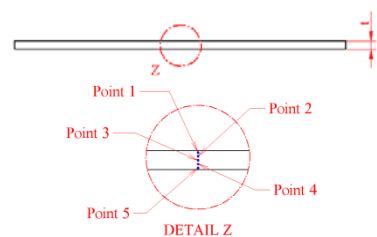
รูปที่ 5 แม่พิมพ์ขึ้นรูปตัวยู (แบบมีปีก)

4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้นของตัวแปร ที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างและค่าความแข็ง ของเหล็กเกรด SAPH440 โดยมีรูปแบบการตัดที่แตกต่างกันสามรูปแบบได้แก่ การตัดขึ้นรูปแบบ L-Bending การตัดขึ้นรูปแบบ U-Bending และการตัดขึ้นรูปแบบ U-Bending มีปีก ขนาดความหนาของเหล็กแผ่นที่ใช้ในการทดสอบมีอยู่ทั้งหมด 5 ขนาด ได้แก่ 1.6, 2.0, 2.3, 2.6 และ 3.0 มม. ซึ่งในการทดลองได้มีการศึกษาปัจจัยที่มีผลทำให้ค่าความแข็ง (HV) ที่เกิดขึ้น และโครงสร้างจุลภาพที่เปลี่ยนแปลงไปก่อนและหลังการตัดขึ้นรูปสามารถแสดงผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองของโครงสร้างจุลภาค และค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 ก่อนทำการตัดขึ้นรูป

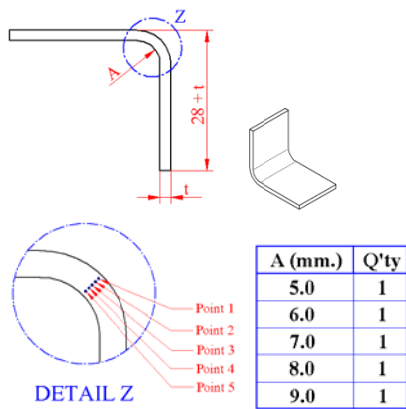
บริเวณ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจในผลการทดลองแล้วทำการวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาค และค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 ก่อนทำการตัดขึ้นรูป



รูปที่ 6 บริเวณ ณ ตำแหน่งโครงสร้างจุลภาค และค่าความแข็งของชิ้นงานก่อนทำการตัดขึ้นรูป

4.2 บริเวณที่ทำการวิเคราะห์ของโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของการดัดขึ้นรูปแบบ L – Bending

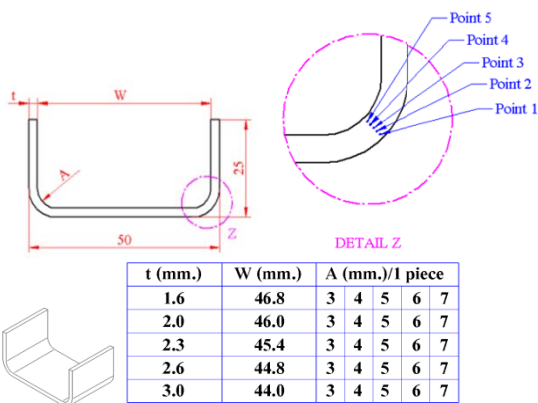
บริเวณ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจในผลการทดลองแล้วทำการวิเคราะห์ของโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการดัดขึ้นรูปตัวแอล



รูปที่ 7 บริเวณ ณ ตำแหน่งโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปตัวแอล

4.3 บริเวณที่ทำการวิเคราะห์ของโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของการดัดขึ้นรูปแบบ U-Bending (U1)

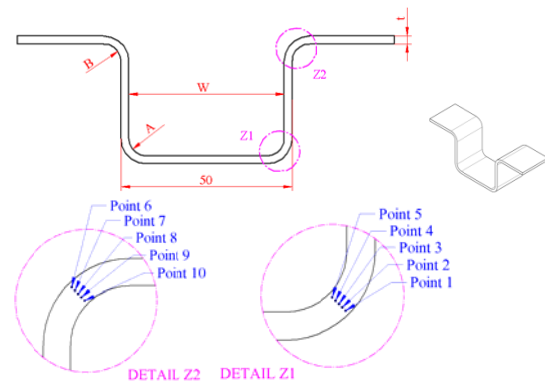
บริเวณ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจในผลการทดลองแล้วทำการวิเคราะห์ของโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการดัดขึ้นรูปตัวยู (U1)



รูปที่ 8 บริเวณ ณ ตำแหน่งโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปตัวยู (U1)

4.4 บริเวณที่ทำการวิเคราะห์ของโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของการดัดขึ้นรูปแบบ U-Bending แบบมีปีก (U2)

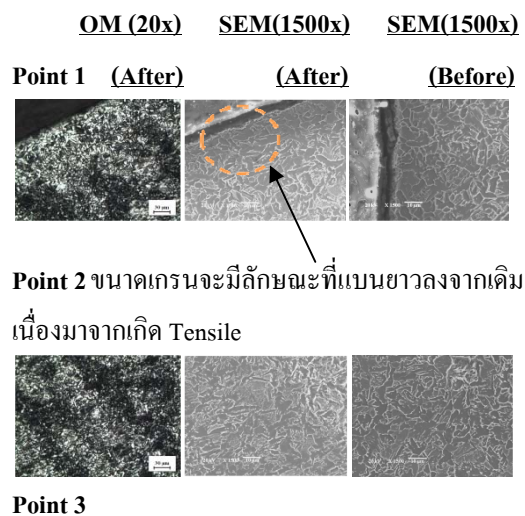
บริเวณ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจในผลการทดลองแล้วทำการวิเคราะห์ของโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการดัดขึ้นรูปด้วยแบบมีปีก (U2)

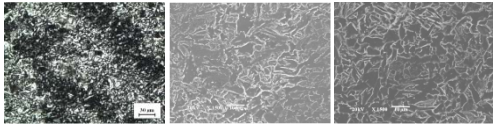


t (mm.)	W (mm.)	A (mm.)/1 piece	B (mm.)/1 piece
1.6	46.8	3 4 5 6 7	5 6 7 8 9
2.0	46.0	3 4 5 6 7	5 6 7 8 9
2.3	45.4	3 4 5 6 7	5 6 7 8 9
2.6	44.8	3 4 5 6 7	5 6 7 8 9
3.0	44.0	3 4 5 6 7	5 6 7 8 9

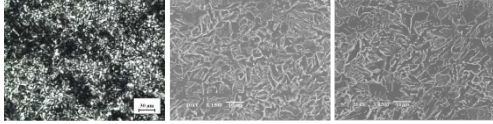
รูปที่ 9 บริเวณ ณ ตำแหน่งโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของชิ้นงานหลังการขึ้นรูปตัวยูแบบมีปีก (U2)

4.5 วิเคราะห์ผลการทดลองของโครงสร้างจุดภาค ของชิ้นงาน SAPH440 ก่อน และหลังทำการดัดขึ้นรูป ณ ตำแหน่ง Point ที่ 1 - 10



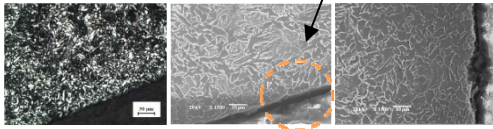


Point 4



Point 5 ขนาดเกรนจะมีขนาดเล็กลงจากเดิมเนื่องมาจากเกิด

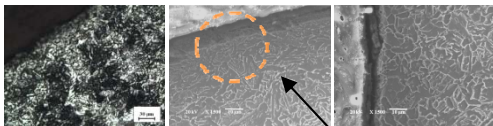
Compressive



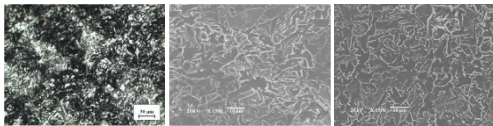
รูปที่ 10 ชิ้นงานหนา 2.3 มม. ขึ้นรูปที่รัศมีพันซ์เท่ากับ 5 และรัศมีดายเท่ากับ 9 มม.

OM (20x) SEM(1500x) SEM(1500x)

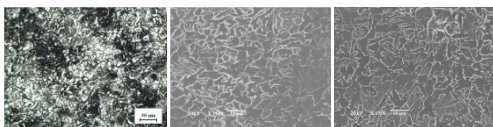
Point 6 (After) (After) (Before)



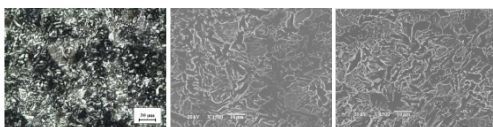
Point 7ขนาดเกรนจะมีลักษณะที่แบนยาวลงจากเดิมเนื่องมาจากเกิด Tensile



Point 8

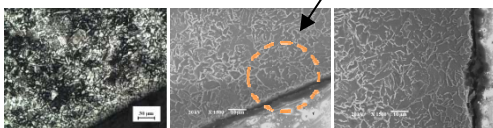


Point 9



Point 10ขนาดเกรนจะมีขนาดเล็กลงจากเดิมเนื่องมาจากเกิด

Compressive

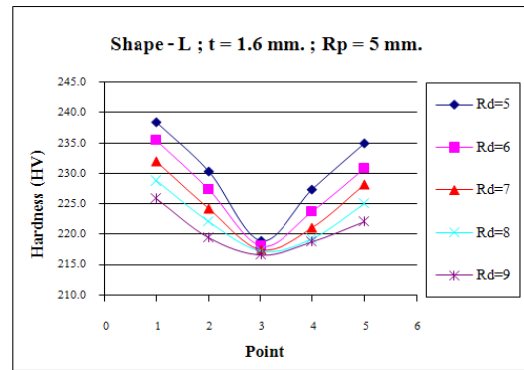


รูปที่ 11 ชิ้นงานหนา 2.3 มม. ที่รัศมีพันซ์เท่ากับ 5 และรัศมีดายเท่ากับ 9 มม.

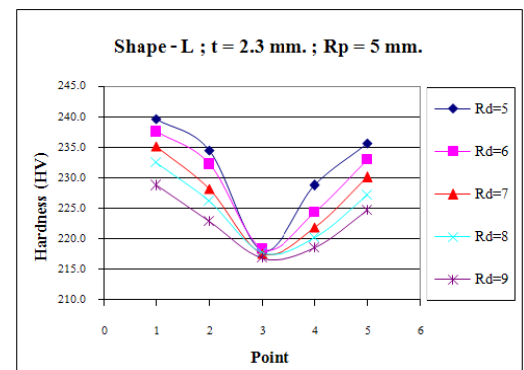
4.6 วิเคราะห์ผลการทดลองค่าความแข็ง ของชิ้นงาน

SAPH440 หลังทำการดัดขึ้นรูปตัวแอล

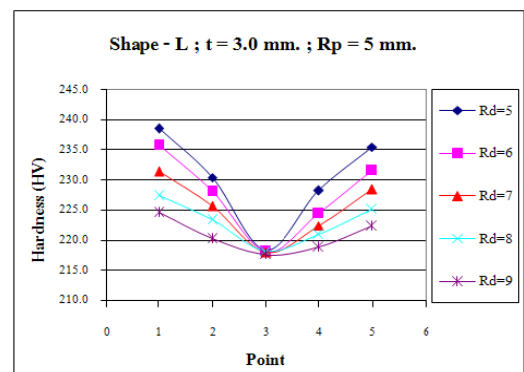
บริเวณ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจในการวิเคราะห์ค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการดัดขึ้นรูปตัวแอล ที่รัศมี Die ต่าง ๆ(รัศมีมีหน่วยเป็น มม.)



รูปที่ 12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 1.6 มม. และรัศมีพันซ์ที่ R5 มม.



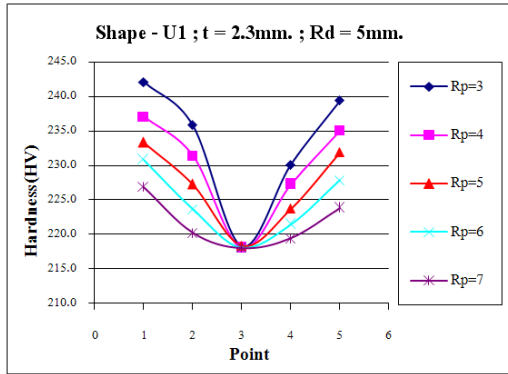
รูปที่ 13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีพันซ์ที่ R5 มม.



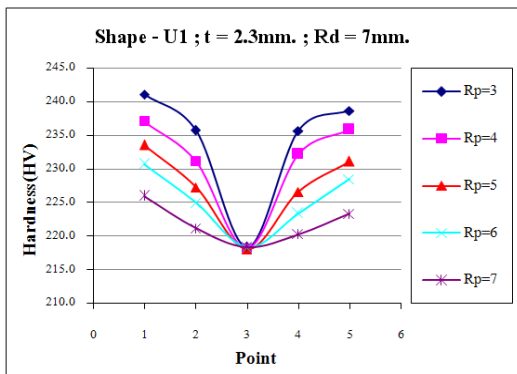
รูปที่ 14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 3.0 มม. และรัศมีพันซ์ที่ R5 มม.

4.7 วิเคราะห์ผลการทดลองค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการตัดขึ้นรูปด้วย (U1)

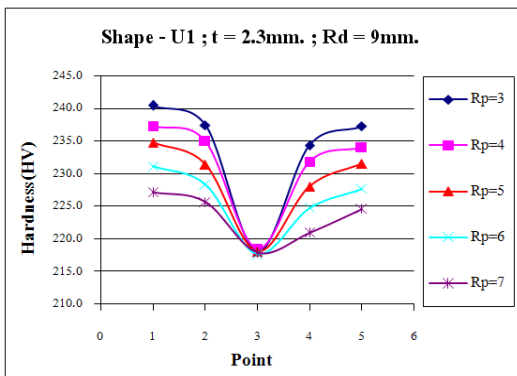
บริเวณ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจในทำการวิเคราะห์ ค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการตัดขึ้นรูปด้วย (U1) ที่รัศมี Punch ต่าง ๆ (รัศมีมีหน่วยเป็น มม.)



รูปที่ 15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีคायที่ R5 มม.



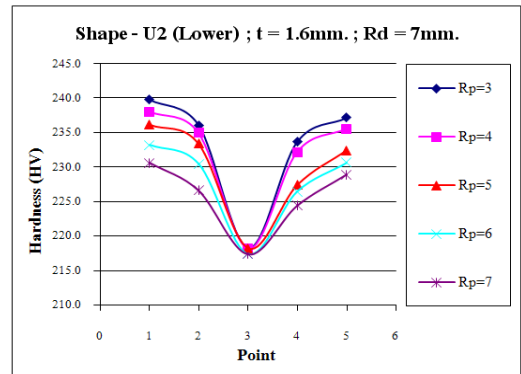
รูปที่ 16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีคायที่ R7 มม.



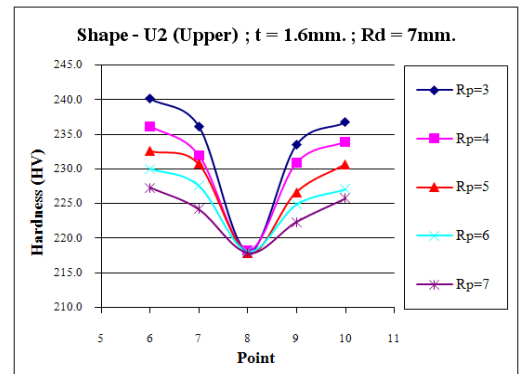
รูปที่ 17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีคायที่ R9 มม.

4.8 วิเคราะห์ผลการทดลองค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการตัดขึ้นรูปด้วยแบบมีปีก (U2)

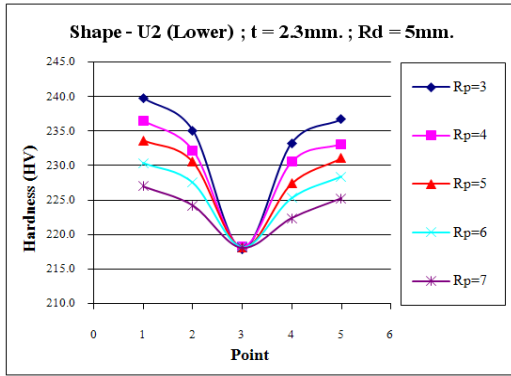
บริเวณ ณ ตำแหน่งที่เราสนใจในผลการทดลองแล้วทำการวิเคราะห์ของโครงสร้างจุดภาค และค่าความแข็งของชิ้นงาน SAPH440 หลังทำการตัดขึ้นรูปด้วยแบบมีปีก (รัศมีมีหน่วยเป็น มม.)



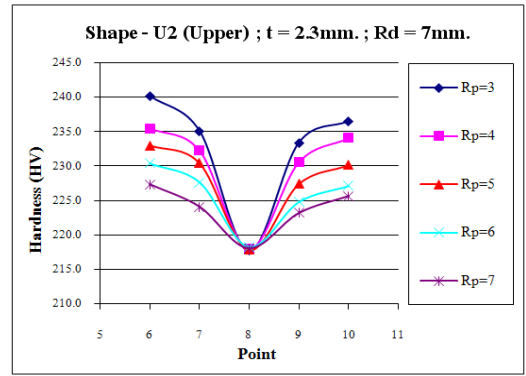
รูปที่ 18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 1.6 มม. และรัศมีคायที่ R7 มม. (มุมตัดด้านล่าง)



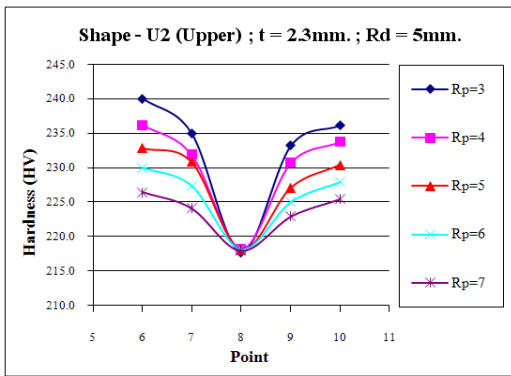
รูปที่ 19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 1.6 มม. และรัศมีคायที่ R7 มม. (มุมตัดด้านบน)



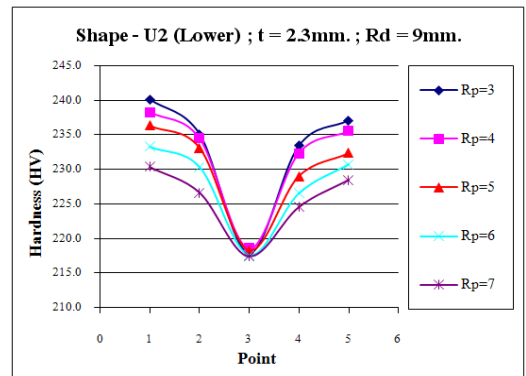
รูปที่ 20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีด้ายที่ R5 มม. (มุมตัดด้านล่าง)



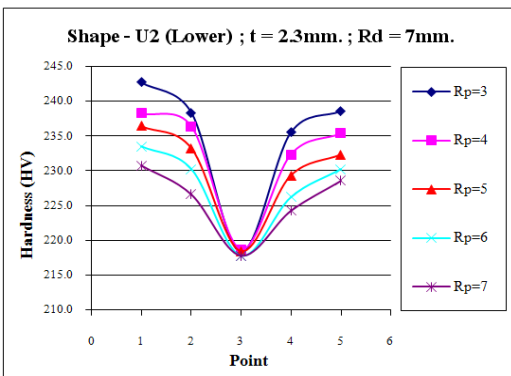
รูปที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีด้ายที่ R7 มม. (มุมตัดด้านบน)



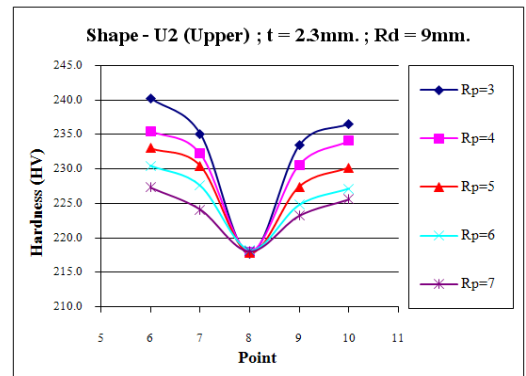
รูปที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีด้ายที่ R5 มม. (มุมตัดด้านบน)



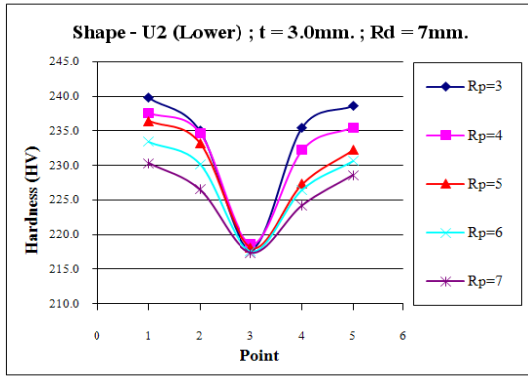
รูปที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีด้ายที่ R9 มม. (มุมตัดด้านล่าง)



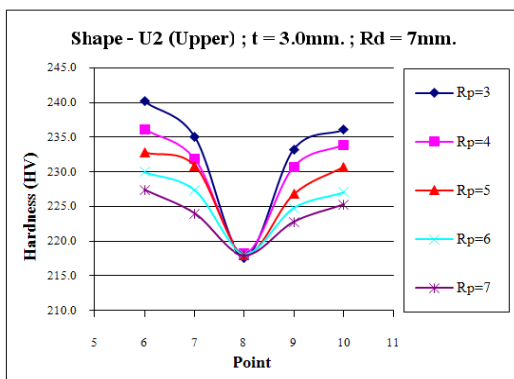
รูปที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีด้ายที่ R7 มม. (มุมตัดด้านล่าง)



รูปที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 2.3 มม. และรัศมีด้ายที่ R9 มม. (มุมตัดด้านบน)



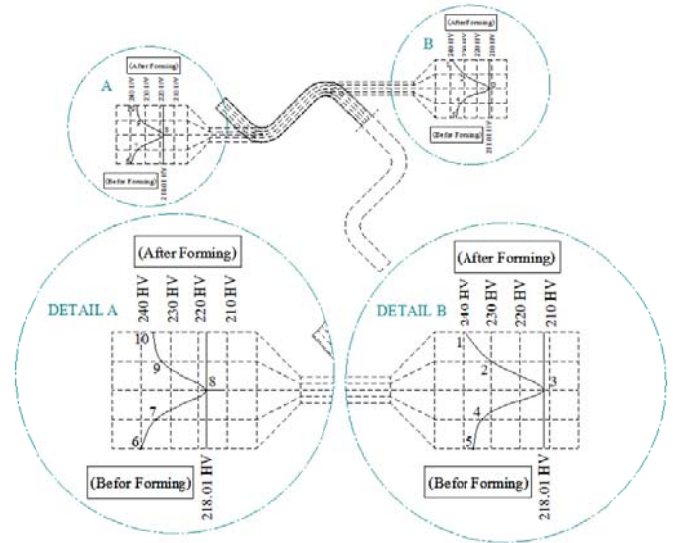
รูปที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 3.0 มม. และรัศมีดัดที่ R7 มม. (มุมคดด้านล่าง)



รูปที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ที่ความหนา 3.0 มม. และรัศมีดัดที่ R7 มม. (มุมคดด้านบน)

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

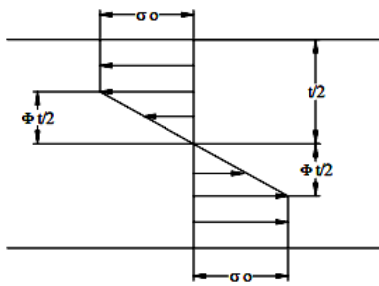
ผลการดูโครงสร้างจุลภาคพบว่าดูด้วยวิธี OM นั้น ยังไม่เพียงพอต่อการบอกอะไรได้มากนัก จึงทำการดูโครงสร้างจุลภาคด้วยวิธี SEM นั้นสามารถที่จะบอกลักษณะโครงสร้างจุลภาคที่เกิดการเปลี่ยนไปได้



รูปที่ 28 แสดงพฤติกรรมค่าความแข็ง ณ ตำแหน่งที่สนใจก่อน และหลังการขึ้นรูป

ผลการวัดค่าความแข็งของแผ่น Blank (SAPH440) ก่อนที่จะทำการดัดขึ้นรูปพบว่าค่าความแข็งของแต่ละตำแหน่งนั้นจะมีค่าที่ไม่เท่ากันบางจุดก็กระโดดแข็งมากน้อยไม่เท่ากัน แต่โดยเฉลี่ยมีค่าความแข็งไม่ได้ต่างกันมากนัก เนื่องจากเหล็กผ่านกระบวนการรีดร้อนมาจึงทำให้ไม่สามารถควบคุมความแข็งได้ และปริมาณคาร์บอน ณ จุดต่าง ๆ ก็ไม่เท่ากันด้วย

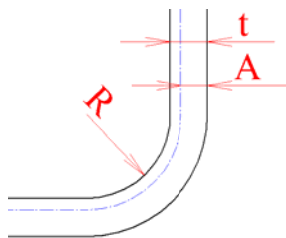
จากการทดลองทำการดัดขึ้นรูปทั้ง 3 แบบ ทำให้ทราบว่า ณ บริเวณที่ตำแหน่ง Tensile มีค่าความแข็งมากกว่า ณ บริเวณที่ตำแหน่ง Compressive ซึ่งในการดัดขึ้นรูปไม่ได้แปลว่า ณ บริเวณที่ตำแหน่ง Tensile จะมีค่าความแข็งมากกว่า ณ บริเวณที่ตำแหน่ง Compressive เสมอไปขึ้นอยู่กับรูปร่างที่ทำขึ้นรูปสามารถสรุปได้ว่ายิ่งมุมคดน้อยจะเกิดความแข็งเครียดที่ขึ้นงานมากขึ้น ส่งผลทำให้บริเวณนั้น จะมีค่าความแข็งมากตามไปด้วย แล้วบริเวณที่เกิดความแข็งเครียดมากที่สุดคือบริเวณขอบที่เกิดการยึดตัว ส่วนบริเวณตรงกลางจะเกิดความแข็งเครียดน้อยมาก และส่วนบริเวณขอบที่เกิดการยึดตัว จะเกิดความแข็งเครียดน้อยกว่าขอบที่ถูกยึดตัวเล็กน้อย



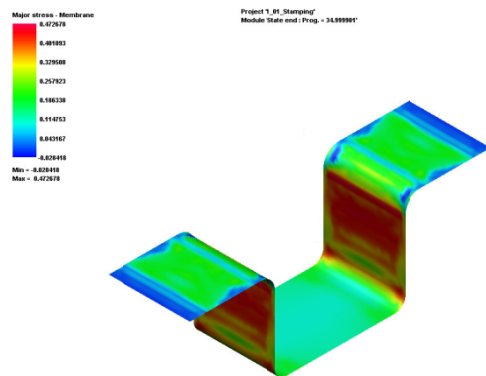
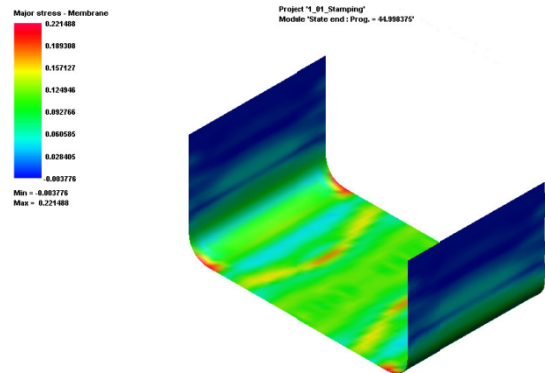
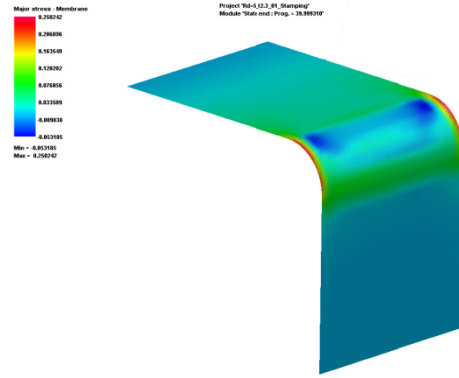
รูปที่ 29 การกระจายความเค้นช่วง Elastic และ Plastic

บริเวณที่เป็นขอบภายนอกของแผ่นเหล็กหลังจากผ่านการตัดทำให้เกิดความเป็น Plastic ส่วนภายในของแผ่นเหล็กหลังจากผ่านการตัดยังคงมีความเป็น Elastic อยู่จึงทำให้ค่าความแข็งที่ได้บริเวณที่เป็น Plastic แข็งกว่าบริเวณ Elastic แล้วส่วนที่เป็น Plastic บริเวณที่เป็น Tensile มีค่าความแข็งมากกว่าบริเวณ Compressive

มุมรัศมี (R) ที่ใช้ในการตัดขึ้นรูปยิ่งน้อย เส้นแกนกลางจะเลื่อนไปด้านความเค้นอัด จึงทำให้พื้นที่ในช่วง A มีมากและทำให้เกิดการเปลี่ยนรูปในช่วง Plasticity ที่มาก ดังนั้นแสดงว่ามีการคงรูปที่สูงขึ้น ทำให้ค่าความแข็งที่บริเวณความเค้นดึงมากขึ้น



รูปที่ 30 แสดงเส้นแกนกลางเคลื่อนไปทางความเค้นอัด



รูปที่ 31 จำลองการขึ้นรูปชิ้นงานโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ เพื่อดู Stress ที่เกิดขึ้นในการขึ้นรูป

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงด้วยได้รับการสนับสนุนจากคณบดี อธิการบดี และคณาจารย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

เอกสารอ้างอิง

- [1] Bakhshi, M., Rahmani, B., Daezadeh, V. and Gorji, A., 2008, "The study of spring-back of CK69 steel sheet in V-die and U-die bending processes", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 135, pp.123-145.
- [2] Zafer, T., 2004, "An experimental study on the examination of springback of sheet metals with several thicknesses and properties in bending dies", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 145, pp. 109-117.
- [3] Samuel, M., 2000, "Experimental and numerical prediction of springback and side wall curl in U-bending of anisotropic sheet metals", Journal of Materials Processing Technology, Vol.105, pp. 382-393.
- [4] Calos, G. and Oladipo, O., 2005, "Lovell, Investigation of springback in high strength Anisotropic steels", Journal of Materials Processing Technology, Vol. 159, pp. 91-98.
- [5] Peng, C., Muammer, K. and Wenner, L., 2008, "Experimental Investigation of Springback Variation in Forming of High Strength Steel", Journal of Manufacturing Science and Engineering, Vol. 130, pp. 361-372.
- [6] Dewhinst, C., 1989, "Springback and side-wall curl of Galvanized and Galvalumesteel sheet", Journal of Mechanical Working Technology, Vol. 134, pp. 223-238.
- [7] Ponticel, P., 2001, "Fuel – cell Material Developed by Altair", Automotive Engineering International, Vol. 109, pp. 82-83.