บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้ มุ้งเน้นเพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของตัวแปร คือ ขนาดรัศมีบ่าดาย ที่มีผลต่อแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก โดยใช้แผ่นเหล็กกล้ารีดร้อนสำหรับโครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS) และเหล็กแผ่นรีดเย็นเกรด SPCC (JIS) ขนาดความหนา 1.4 มม. ขึ้นรูปบนเครื่องปั๊มไฮดรอลิกขนาด 80 ตัน ด้วยแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก ใช้น้ำมันมะพร้าวเป็นสารหล่อลื่นในการทดลอง ซึ่งผลการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรนี้ มีความสำคัญอย่างมากในการใช้เป็นแนวทางในการออกแบบ และปรับปรุงกระบวนการลากขึ้นรูปลึก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 อิทธิพลของรัศมีบ่าดายที่มีผลต่อแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ในกระบวนการทดลองเลือกใช้ขนาดรัศมีบ่าดาย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. ใช้ค่าแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานจากการคำนวณ คือ 36.61 kN สำหรับเหล็ก SPCC และ 54.52 kN สำหรับเหล็ก SAPH 440 ในการทดลองการปรับตั้งค่าแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานไม่สามารถปรับให้ตรงตามค่าที่คำนวณได้เนื่องจากความแปรผันของเครื่องมือและอุปกรณ์ แต่จะใช้ค่าใกล้เคียงที่สามารถปรับตั้งได้ จากการทดลองสรุปได้ว่าขนาดของรัศมีบ่าดายมีอิทธิพลโดยตรงกับความสามารถในการไหลตัวของโลหะและพื้นที่สัมผัสของแผ่นชิ้นงานระหว่างดายกับแผ่นกดยึดชิ้นงาน ดังนั้นรัศมีบ่าดายขนาดเล็กจะใช้แรงในการลากขึ้นรูปสูง เมื่อเลือกใช้ขนาดรัศมีบ่าที่ใหญ่ขึ้นจะส่งผลให้แรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปลดลง ทั้งนี้ผลการทดสอบของแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปของวัสดุเหล็ก SPCC ก็ได้แนวโน้มเช่นเดียวกันกับเหล็ก SAPH 440

5.1.2 อิทธิพลของรัศมีบ่าดายที่มีผลต่อคุณภาพของถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก

จากการศึกษาการลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกที่รัศมีบ่าดาย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. โดยเปรียบเทียบระหว่างเหล็ก SPCC กับเหล็ก SAPH 440 สามารถสรุปผลด้านคุณภาพของชิ้นงานหลังกระบวนการลากขึ้นรูปได้ดังต่อไปนี้

1) อิทธิพลของรัศมีบ่าดายที่มีผลต่อความกว้างของชิ้นงานรวมปีก

รัศมีบ่าดายมีผลต่อความกว้างของชิ้นงานรวมปีก ผลการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440 เมื่อใช้รัศมีบ่าดายขนาดใหญ่ขึ้นความกว้างของชิ้นงาน

รวมปีกก็จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากรัศมีบ่าดายที่ใหญ่ขึ้นทำให้ปากถ้วยกว้างขึ้นเมื่อลากขึ้นรูปชิ้นงานด้วยรัศมีบ่าดาที่ใหญ่จึงส่งผลให้ความกว้างของชิ้นงานรวมปีกเพิ่มขึ้น

2) อิทธิพลของรัศมีบ่าดายที่มีผลต่อความหนาผนังถ้วยด้านตรงของชิ้นงาน

จากผลของการทดลองพบว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนรัศมีบ่าดายจะไม่ส่งผลอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังถ้วยด้านตรง และความหนาของชิ้นงานบริเวณจุดที่บางที่สุดก็ไม่มีแนวโน้มที่แน่ชัดว่าเมื่อใช้รัศมีบ่าดายที่มีขนาดใหญ่ขึ้นแล้วจะเกิดการเปลี่ยนแปลงความหนาที่เป็นอิทธิพลมาจากรัศมีบ่าดายที่เปลี่ยนไป ผลของการทดลองเป็นไปในทิศทางเดียวกันทั้งเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440 ลากขึ้นรูปที่รัศมีบ่าดาย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. โดยใช้แผ่นเปล่าที่มีความหนาเดิมอยู่ที่ 1.4 มม. จะพบว่าความหนาบริเวณจุดที่บางที่สุดของผนังด้านตรงสำหรับเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440 อยู่ในตำแหน่งที่ 6 ส่วนบริเวณปีกถ้วยในตำแหน่งที่ 10 ชิ้นงานจะมีความหนามากสุดและมากกว่าความหนาเริ่มต้นของชิ้นงาน

3) อิทธิพลของรัศมีบ่าดายที่มีผลต่อความหนาผนังถ้วยบริเวณมุมของชิ้นงาน

จากผลที่ได้จากกระบวนการทดลองพบว่าการปรับเปลี่ยนขนาดของรัศมีบ่าดายจะมีอิทธิพลต่อความหนาของผนังถ้วยบริเวณมุมของชิ้นงาน ทั้งนี้ผลการวัดความหนาของชิ้นงานทั้งเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440 ก็ได้แนวโน้มเช่นเดียวกัน โดยผนังบริเวณเหนือรัศมีของพั้นช์ในตำแหน่งที่ 4 จะเป็นจุดที่มีความหนาน้อยที่สุด โดยที่เหล็ก SAPH 440 จะมีความหนาน้อยกว่าเหล็ก SPCC เนื่องจากเหล็ก SAPH 440 เกิดการยึดติดกับผิวของแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่าเหล็ก SPCC ทำให้เกิดความเค้นดึงบริเวณมุมก้นถ้วยมากกว่าเหล็ก SPCC ความหนาของผนังชิ้นงานบริเวณนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อใช้รัศมีบ่าดายขนาดใหญ่ขึ้นทำให้แผ่นชิ้นงานไหลตัวได้ง่าย จากการลากขึ้นรูปที่รัศมีบ่าดาย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. โดยใช้แผ่นเปล่าที่มีความหนาเดิมอยู่ที่ 1.4 มม. จะพบว่าชิ้นงานมีความหนาเฉลี่ยน้อยสุดที่ตำแหน่งของผนังถ้วยบริเวณมุมในตำแหน่งที่ 4 สำหรับเหล็ก SPCC เท่ากับ 1.283 มม. 1.310 มม. 1.317 มม. และ 1.337 มม. ตามลำดับ และจะมีความหนาเฉลี่ยน้อยสุดที่ตำแหน่งของผนังถ้วยบริเวณมุมสำหรับเหล็ก SAPH 440 เท่ากับ 1.243 มม. 1.253 มม. 1.257 มม. และ 1.267 มม. ตามลำดับ

4) อิทธิพลของรัศมีบ่าดายที่มีผลต่อรอยแตกและรอยย่น

จากการทดลองลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกด้วยวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้ารีดร้อนสำหรับโครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS) วัสดุเหล็กทั้งสองชนิดสามารถลากขึ้นรูปได้โดยไม่เกิดรอยแตกและรอยย่นที่ระดับแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานเฉลี่ยที่ 37 kN สำหรับเหล็ก SPCC และเฉลี่ยที่ 56 kN สำหรับเหล็ก SAPH 440

5) อิทธิพลของรัศมีบ่าดายที่มีผลต่อค่าความหยาบผิว (R_a)

จากการผลของการวัดค่าความหยาบผิว (R_a) ของชิ้นงานสำเร็จหลังผ่านกระบวนการลากขึ้นรูปลึก พบว่าการเปลี่ยนแปลงของค่าความหยาบผิว (R_a) ทั้งวัสดุเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440 เป็นไปในลักษณะที่สอดคล้องกัน คือ ค่าความหยาบผิวชิ้นงานน้อยลงเมื่อรัศมีบ่าดายใหญ่ขึ้นโดยเหล็ก SAPH 440 จะมีค่าความหยาบผิวที่ละเอียดกว่าเหล็ก SPCC ทั้งนี้ด้วยคุณสมบัติของเหล็ก SAPH 440 แผ่นชิ้นงานจะยึดติดกับผิวแม่พิมพ์ได้ง่าย ทำให้ในขณะที่ชิ้นงานเคลื่อนที่ผ่านผิวดายโดยมีแผ่นจับยึดชิ้นงานทำการกดชิ้นงานให้แนบกับผิวดายขณะที่มีการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างผิวทั้งสอง ทำให้เกิดการถ่ายผิวจากดายไปสู่ชิ้นงานดีกว่าเหล็ก SPCC

จากการทดลองลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกโดยใช้รัศมีบ่าดาย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. พบว่ารัศมีบ่าดายทั้ง 4 ระดับ สามารถลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกจากเหล็กกล้า SPCC และเหล็ก SAPH 440 ได้สมบูรณ์ปราศจากรอยแตกและรอยย่นที่แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานเฉลี่ยที่ 37 kN สำหรับเหล็ก SPCC และที่แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานเฉลี่ย 56 kN สำหรับเหล็ก SAPH 440 ชิ้นงานจากเหล็ก SAPH 440 จะเกิดรอยบนชิ้นงานที่เกิดจากการเสียดสีปรากฏชัดเจนกว่าชิ้นงานจากเหล็ก SPCC เนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะของเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงจะทำให้แผ่นชิ้นงานไหลตัวยาก เนื่องจากแผ่นชิ้นงานจะยึดติดกับผิวของแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่าเหล็ก SPCC จึงทำให้แรงเสียดทานในกระบวนการลากขึ้นรูปลึกเพิ่มขึ้น จากข้อมูลในการทดลองจึงสามารถสรุปได้ว่ารัศมีบ่าดาย 12 มม. เป็นรัศมีบ่าดายที่มีความเหมาะสมสำหรับงานลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกของเหล็ก SAPH 440 โดยที่รัศมีบ่าดาย 12 มม. จะช่วยให้แผ่นชิ้นงานไหลตัวได้ดีขึ้น ทำให้ช่วยลดแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปลงได้มากที่สุด และชิ้นงานจะมีการเปลี่ยนแปลงความหนาบริเวณมุมก้นถ้วยน้อยที่สุด ซึ่งตรงกับจุดประสงค์ของงานขึ้นรูปโลหะ

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในปัจจุบันเหล็ก SAPH 440 สามารถหาซื้อได้ทั่วไปแต่ถ้าหากต้องการดูแนวโน้มที่ชัดเจนมากขึ้นควรเปลี่ยนวัสดุที่มีค่าความแข็งแรงมากกว่า เช่น SPFH 590 SPFC 780 ซึ่งปัจจุบันมีใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตไม่สามารถหาซื้อได้ทั่วไป

5.2.2 การทดลองครั้งนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษาเพียงคุณภาพของชิ้นงานจากการทดลองลากขึ้นรูปชิ้นงานเพียงไม่กี่ชิ้น ไม่ได้ศึกษาถึงการสึกหรอ แต่ในระยะยาวแม่พิมพ์อาจเกิดการสึกหรอได้หากทดลองกับวัสดุเหล็กที่มีค่าความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

5.2.3 ใช้เครื่องมือวัดแรง สเตรนเกจ (Strain Gauge) ที่พั้นช์โดยตรงเพื่อให้สามารถวัดแรงที่ได้มีความแม่นยำมากขึ้น