



การศึกษาผลกระทบของความยาวเบริงต่อลักษณะการไหลตัวของโลหะ
ในกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียม

Study on the effect of die bearing length on metal flow in aluminum extrusion process

นิธิ มหรัตน์โรจน์^{1*} วิบูลย์ ตั้งวัชรตมกุล² และ อุษณีย์ คำพูล³

¹วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, nithi.siamsico@gmail.com

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, viboon.tan@kmutt.ac.th

³ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, ussaneci.pur@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การออกแบบแม่พิมพ์สำหรับกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมต้องคำนึงถึงลักษณะการไหลตัวของเนื้อโลหะ และต้องควบคุมความเร็วในการไหลตัวให้มีความสม่ำเสมอเพื่อให้ได้ขนาดและรูปทรงชิ้นงานตามต้องการ องค์ประกอบหนึ่งของแม่พิมพ์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วในการไหลของเนื้ออลูมิเนียมในกระบวนการอัดรีดคือ เบริงเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงผลกระทบของขนาดเบริงในแม่พิมพ์อัดรีดต่อพฤติกรรมการไหลตัวของเนื้ออลูมิเนียม รวมไปถึงการวิเคราะห์การไหลเพื่อให้เกิดความสมดุลในกระบวนการอัดรีดงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาอิทธิพลของค่าความยาวเบริงในแม่พิมพ์ที่มีผลต่อการไหลตัวของเนื้ออลูมิเนียมงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองอัดรีดอลูมิเนียม เกรด 6063 ด้วยแม่พิมพ์อัดรีดที่มีค่าความยาวเบริง 2, 2.5, 3.5 และ 4 เท่าของความหนาชิ้นงานและทำการวัดขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการอัดรีดผลการทดลองที่ได้พบว่า การไหลของเนื้ออลูมิเนียมมีความต่อเนื่องซึ่งชิ้นงานสามารถผลิตได้ตามขนาดที่ต้องการ และไม่พบตำหนิเกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานเมื่อใช้ค่าเบริงที่ 2.5 เท่าของความหนาชิ้นงาน ในบริเวณขอบด้านข้างของแม่พิมพ์ผลการวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อทำให้เกิดความสมดุลในการไหลตัวของเนื้อวัสดุในกระบวนการอัดรีดและควบคุมคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการขึ้นรูป

คำสำคัญ: การอัดรีดอลูมิเนียม, แม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียม, การไหลเพื่อให้เกิดความสมดุล, ความยาวเบริง

ABSTRACT

The design of aluminum extrusion mold has to consider the metal flow characteristics and control of flow velocity in order to yield the desired part dimensions and geometries. Mold bearing is a major factor affecting the flow velocity of aluminum during the extrusion process. To understand the effects of bearing size on metal flow behavior and flow balancing in the aluminum extrusion process, this research aims at investigating such effects in which a set of experiments was carried out by extruding 6063 aluminum alloy under the different bearing sizes of 2, 2.5, 3.5 and 4 times the work piece thickness. The dimensions of work piece obtained from the extrusion process were measured. The results revealed that the continuous metal flow, conformed dimensions of work piece and no sign of defects in the work surface were achievable when the bearing size of 2.5 times the work piece thickness was applied at the outer sides of extrusion mold. The implication of this study would provide an essential guideline for mold design and balancing of metal flow in extrusion process so as controlling of product quality obtained.

Keywords: Aluminum Extrusion, Dies Extrusion, Flow for Balance, Bearing length



1. บทนำ

สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตอลูมิเนียมเส้นหน้าตัดนั้นในขั้นตอนการผลิตจะใช้วิธีการผลิตโดยใช้แรงดันอัดแท่งอลูมิเนียม (Billet) ผ่านแม่พิมพ์ขึ้นรูปออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ โดยผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการผลิตจะต้องมีรูปร่างหน้าตัดตามที่กำหนดไว้ ซึ่งส่วนประกอบสำคัญในการอัดรีดคือการปรับค่าขนาดของแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการขึ้นรูปวัสดุให้มีความสมดุลของการไหลเท่ากันทั้งหน้าตัด โดยในการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ไม่มีแบบแผนที่ชัดเจนในการวิเคราะห์หาขั้นตอนในการออกแบบแม่พิมพ์ที่เหมาะสม ทำให้ยังคงต้องใช้ประสบการณ์และการลองผิดลองถูกในการปรับค่าแม่พิมพ์จากผู้ชำนาญการจนสามารถขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้อย่างสมบูรณ์ ซึ่งจะทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเป็นอันมาก จากสภาพปัญหาดังกล่าวจึงได้นำมาวิเคราะห์เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสมในการปรับปรุงกระบวนการผลิตโดยเมื่อนำขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์มาวิเคราะห์พบว่ากระบวนการที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการผลิตอลูมิเนียมเส้นหน้าตัดคือ การควบคุมการไหลของเนื้ออลูมิเนียมผ่านแม่พิมพ์ โดยขณะอัดรีดเนื้ออลูมิเนียมจะเคลื่อนตัว แม่พิมพ์จะต้องควบคุมอัตราการไหลให้สม่ำเสมอเท่ากันทั้งหน้าตัด หากอัตราการไหลไม่สม่ำเสมอจะส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการขึ้นรูปนั้นเกิดการบิดเบี้ยวเสียรูปได้ แม้ว่าได้มีงานวิจัยจำนวนหนึ่งที่ศึกษาพฤติกรรมการไหลของเนื้อโลหะผ่านแม่พิมพ์ที่มีขนาดแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันในระหว่างการอัดขึ้นรูป งานวิจัยเหล่านี้กลับไม่ได้ทำการอัดขึ้นรูปชิ้นงานจริงแต่อาศัยการจำลองกระบวนการและคำนวณการเปลี่ยนรูปของเนื้อวัสดุด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เช่น งานวิจัยของ (V.N.S.U. Ammu, V and P.Mahendiran, 2011)[1] ได้พิจารณาการออกแบบแม่พิมพ์โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์มาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าความสมดุลของหน้าตัดในขณะอัดรีดผลที่ได้จากการทดลองเมื่อจำลองการอัดรีดให้ค่าแม่พิมพ์เท่ากันทั้งหน้าตัดชิ้นงานพบว่าความเร็วในการไหลในส่วนที่ใกล้กับจุดศูนย์กลาง 159.5 มิลลิเมตร/วินาทีและส่วนที่ไกลจากจุดศูนย์กลางมีความเร็วในการไหล 59.81 มิลลิเมตร/วินาทีซึ่งส่งผลให้เกิดการเสียรูปของชิ้นงานดังนั้นจึงทำการปรับค่าแม่พิมพ์ใหม่เพื่อให้ความเร็วในการไหลสมดุลกันทั้งหน้าตัดหลังจากการปรับค่าแม่พิมพ์พบว่าชิ้นงานมีรูปร่างที่สมดุลขึ้น(ประเสริฐ, 2550)[2] ได้พิจารณาการจำลองการออกแบบแม่พิมพ์ด้วยโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยศึกษาเกี่ยวกับอุณหภูมิขณะอัดรีดทั้งก่อนรีด ขณะรีดและหลังการอัดรีดที่ปากแม่พิมพ์กับความเร็วในการไหลของแม่พิมพ์และให้ค่าแม่พิมพ์ที่แตกต่างกันไปทั่วทั้งหน้าตัดถึง 18 ค่าที่ต่างกันจากผลการจำลองการทดลองแล้วพบชิ้นงานออกมามีรูปร่างบิดเบี้ยวผู้จัดทำจึงได้ทำการทดลองเปลี่ยนแปลงจากจุดตรวจสอบค่าแม่พิมพ์แล้วพบว่าชิ้นงานออกมามีความเร็วที่สม่ำเสมอทั้งหน้าตัดส่งผลให้รูปร่างชิ้นงานบิดเบี้ยวเพียงเล็กน้อย (สวัสดิ์ ภูมิสวัสดิ์, 2545)[3] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของตัวแปรที่มีผลต่อกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมด้วยแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ด้วยการจำลองการอัดรีดชิ้นงานรูปร่างหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าหน้ากว้าง 76.96 มิลลิเมตร หนา 4.88 มิลลิเมตร พบว่าความดันในการอัดรีดในแบบจำลองต่ำกว่าความดันในการอัดรีดจริงในช่วงแรกของการอัดรีด โดยมีผลต่างสูงสุด 17.2 เปอร์เซ็นต์แต่หลังจากการอัดรีดเริ่มเข้าสู่สภาวะเกือบคงตัวความดันในการอัดรีดในแบบจำลองมีค่าสูงกว่าการอัดรีดจริง โดยมีผลต่างสูงสุด 13 เปอร์เซ็นต์

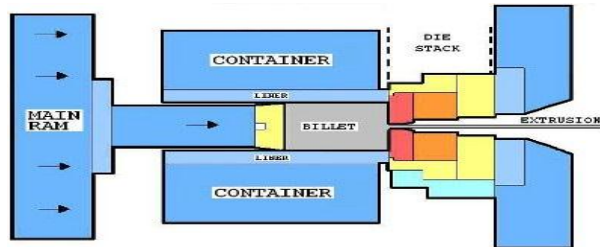
เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงพฤติกรรมการไหลในระหว่างการอัดรีดให้มากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลการไหลของเนื้ออลูมิเนียมผ่านแม่พิมพ์ที่ความยาวขนาดต่างๆ โดยผ่านการทดสอบการอัดรีดจริง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการทดสอบต้องมีขนาดที่ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดหรือใกล้เคียงมากที่สุดและนำผลการทดสอบมาเป็นต้นแบบในการประยุกต์ใช้กับการหาค่าความยาวแม่พิมพ์ที่เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตแม่พิมพ์ต่อไป



2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการอัดรีดอลูมิเนียม

ในกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมมีองค์ประกอบหลักที่สำคัญ 3 ประการ คือ เครื่องจักรแรงดันสูง แม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียม และวัตถุดิบ โดยกระบวนการเริ่มต้นจากการนำเอาแท่งวัตถุดิบที่ผ่านการอบความร้อนแล้วนำมาเข้าเครื่องอัดรีดด้วยแรงดันสูงผ่านเข้าแม่พิมพ์เป็นตัวแปรรูปให้เป็นรูปร่างหน้าตัดตามที่ต้องการดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 กระบวนการอัดรีดอลูมิเนียม[4](P.K. Saha,1998)

กระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมจะใช้แม่พิมพ์เป็นองค์ประกอบหลัก โดยในกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมจะนำแท่งอลูมิเนียม (Billet) มาผ่านเครื่องอัดรีด โดยขนาดพื้นที่หน้าตัดของผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมที่ผ่านการอัดรีดจากแม่พิมพ์จะมีรูปร่างตรงตามลักษณะของแม่พิมพ์นั้นๆ ตัวอย่างแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่2และชิ้นงานที่ได้จากการผลิตดังแสดงในรูปที่3

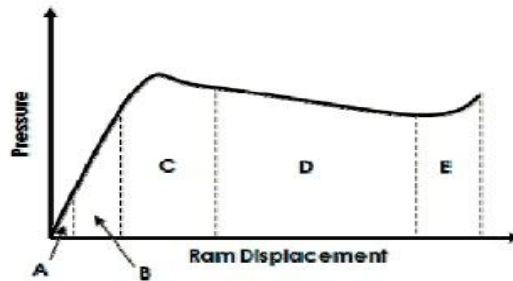


รูปที่ 2 ลักษณะของแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมเส้นหน้าตัด รูปที่ 3 ลักษณะชิ้นงานกว้าง 81 มิลลิเมตร หนา 6 มิลลิเมตร

ในขณะที่อัดรีดนั้นหากความดันที่เกิดขึ้นไม่คงที่จะเกิดการเปลี่ยนแปลงตามระยะการเคลื่อนที่ของแรม หรือเวลาในการอัดรีด ดังแสดงในรูปที่ 4 ช่วง A อลูมิเนียมถูกกดอัดจนเต็มคอนเทนเนอร์ขณะที่อาจเกิดการเปลี่ยนรูปร่างบางส่วนที่บริเวณผนังคอนเทนเนอร์และบริเวณก่อนเข้าสู่แม่พิมพ์ เริ่มเกิดผนังดิสโลเคชัน (Dislocation Walls) ที่บริเวณต่างๆ ช่วง B อลูมิเนียมถูกอัดต่อเนื่อง ผนังดิสโลเคชันเริ่มปรากฏมากขึ้น เกรนย่อย (Subgrain) เริ่มเกิดขึ้น โครงสร้างที่ไม่สม่ำเสมอนี้จะทำให้เกิดการดิสโลเคชันและเกรนย่อยหนาแน่นมากขึ้น โดยเฉพาะบริเวณแม่พิมพ์ในช่วงท้ายอลูมิเนียมจะเริ่มถูกอัดรีดออกมาโดยมีโครงสร้างที่มีความหนาแน่นของดิสโลเคชันต่ำช่วง C เป็นช่วงที่มีความดันสูงที่สุดขอบเขตของช่วงนี้ในช่วงเริ่มต้นของช่วงนี้การเปลี่ยนรูปการเกิดโลหะตาย (Dead Metal) ยังไม่ปรากฏ การเกิด

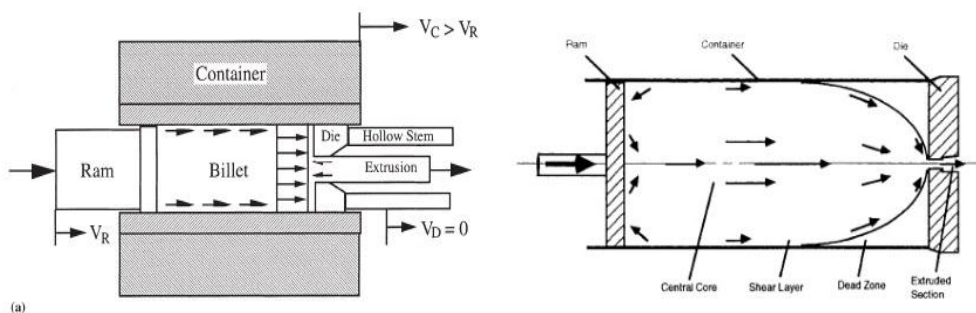


โลหะตายจะปรากฏขึ้นชัดเจนในช่วงที่ถึงจุดที่เกิดความดันสูงสุดช่วง D เป็นช่วงที่อาจเรียกว่าเป็นสภาวะคงตัว ในช่วงนี้อุณหภูมิจะสูงขึ้นและความเค้นทานระหว่างอลูมิเนียมกับคอนเทนเนอร์จะลดต่ำลงเนื่องจากการหดสั้นลงของอลูมิเนียม ทำให้ความดันลดลงอย่างต่อเนื่องช่วง E เป็นช่วงที่ความดันจะเริ่มสูงขึ้น เนื่องจากอลูมิเนียมที่สั้นลงทำให้การไหลอลูมิเนียมไหลได้ยากในแนวรัศมีความดันจึงสูงขึ้นเนื่องจากการกดอัดอลูมิเนียม ในทางปฏิบัตินั้นการอัดรีดควรสิ้นสุดลงก่อนการเกิดช่วง E



รูปที่ 4 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของแรมกับแรงดัน[5](Sheppard,T.,1999)

สำหรับกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียม เมื่อแท่งอลูมิเนียม(Billet) ที่ผ่านการอบความร้อนเข้าเครื่องอัดรีดอลูมิเนียมจะแปรสภาพจากแท่งอลูมิเนียม ซึ่งเป็นของแข็งจะถูกป้อนเข้าสู่แม่พิมพ์เพื่ออัดรีดขึ้นรูป โดยปกติพฤติกรรมการไหลของอลูมิเนียมในสภาวะอ่อนตัว (Plastic Deform)[4] นั้นจะส่งผลทำให้เกิดแรงเค้นทานที่มากตรงบริเวณผนังคอนเทนเนอร์กับผิวของบิลเล็ตซึ่งทำให้ในขณะที่กำลังอัดรีดอลูมิเนียมและป้อนอลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอัดรีดเข้าสู่แม่พิมพ์ พบว่าการไหลของเนื้ออลูมิเนียมบริเวณจุดศูนย์กลางของแม่พิมพ์มีความเร็วในการไหลมากกว่าจุดอื่นๆ ที่อยู่ห่างออกไปจากจุดศูนย์กลางของแม่พิมพ์ดังแสดงในรูปที่ 5



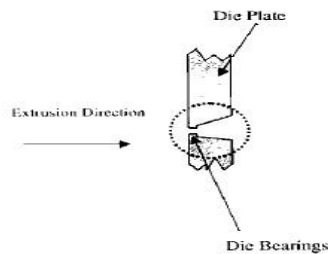
รูปที่ 5 แสดงพฤติกรรมของการไหลของเนื้ออลูมิเนียมขณะอัดรีด [6]

(Miles, N., Evans, G., & Middleditch, A. 1996)

ในกระบวนการอัดรีดอลูมิเนียมจุดประสงค์หลักคือการควบคุมการไหลของเนื้ออลูมิเนียมผ่านแม่พิมพ์โดยผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมที่ผ่านการอัดรีดจะต้องมีลักษณะตรงตามข้อกำหนด ไม่บิดเบี้ยวเสียรูปทรง การควบคุมการไหลของเนื้ออลูมิเนียมผ่านแม่พิมพ์นั้นจะต้องทำให้เนื้ออลูมิเนียมที่ไหลผ่านแม่พิมพ์มีความเร็วในการไหลลงที่อย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งหน้าตัด ซึ่งวิธีการควบคุมความเร็วการไหลของเนื้ออลูมิเนียมให้คงที่และสม่ำเสมอคือการสร้างแรงเค้นทานที่บริเวณปากแม่พิมพ์ (Die Bearing) ดังแสดงในรูปที่ 6 โดยการกำหนดค่าของความยาวของปากแม่พิมพ์ในช่วงต่างๆ ทั่วหน้าตัดให้มีความเร็วในการไหลที่สมดุลกัน โดยจากการศึกษาของ (Geun,L.&Yong, T.I. (2002)[7]



และคณะได้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของอลูมิเนียมผ่านแม่พิมพ์ที่มีความยาวของแบร์ริงต่างๆกันและทำการเปรียบเทียบความเร็วทางออกของปากแม่พิมพ์ที่บริเวณต่างๆของรูปร่างหน้าตัดผลิตภัณฑ์ที่ได้จากแม่พิมพ์ พบว่าความยาวแบร์ริงสามารถใช้ในการควบคุมความเร็วในการไหลได้ การออกแบบให้ความยาวแบร์ริงต่างกันจะสามารถทำให้ความเร็วหน้าตัดของผลิตภัณฑ์สม่ำเสมอขึ้นอย่างไรก็ตามในการควบคุมความเร็วในพื้นที่ส่วนที่มีอัตราการไหลสูงจำเป็นต้องใช้ช่วงความยาวแบร์ริงที่ยาวเช่นกัน (V.N.S.U. Ammu, V and P.Mahendiran, 2011)[1] ได้พิจารณาการออกแบบค่าแบร์ริงโดยใช้วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์มาประยุกต์โดยการจำลองให้ความยาวแบร์ริงในแต่ละส่วนของหน้าตัดที่ต่างกันแล้วพบว่าโปรแกรมแสดงแบบจำลองการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้รูปหน้าตัดที่มีการไหลที่ใกล้เคียงกันทั้งหน้าตัดส่งผลให้ผลิตภัณฑ์มีรูปร่างได้ตามที่ต้องการ (Terfa Gundu, Livinus Tuleun, Oryina Injor, 2014)[8] ได้ทำการศึกษาผลกระทบจากค่าความยาวแบร์ริงที่เกิดขึ้นจากการอัดรีดเย็นทำการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบแรงดันพบว่าผลกระทบที่เกิดขึ้นจากความยาวแบร์ริงจะส่งผลให้แรงดันที่ใช้ในการอัดรีดสูงขึ้นและทำให้การไหลตัวของเนื้ออลูมิเนียมช้าลงเนื่องจากเกิดแรงเสียดทานที่หน้าสัมผัสมาก (Chao Lin & Rajesh S. Ransing, 2009)[9] ได้ทำการออกแบบค่าความยาวแบร์ริงได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพโดยผู้จัดทำได้นำเอาค่าความแตกต่างของความยาวแบร์ริง (BLD) ในการหาพิคเจอร์หน้าตัดของชิ้นงานโดยใช้เหตุผลเชิงเรขาคณิตร่วมกับสูตรในการออกแบบแม่พิมพ์มาเป็นประโยชน์และเป็นนวัตกรรมใหม่ในการออกแบบแม่พิมพ์ได้ง่ายและรวดเร็วมากยิ่งขึ้นในบทความนี้ยังกล่าวถึง Clearance zone และ Valid Design Space มาเป็นแนวคิดและช่วยในการออกแบบ



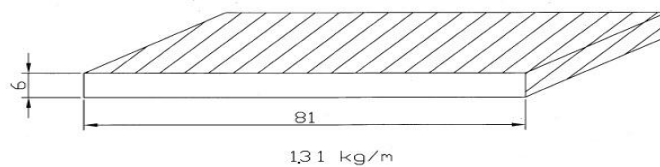
รูปที่ 6 แสดงลักษณะแบร์ริงที่ใช้ในการควบคุมความเร็ว [7] (Geun, L. & Yong, T.I. 2002)

3. การดำเนินการวิจัย

ชิ้นงานในกรณีศึกษาที่ถูกพิจารณาในงานวิจัยนี้คือ ผลิตภัณฑ์อลูมิเนียมที่ผ่านกระบวนการอัดรีด ซึ่งจากสภาพในการผลิตปัจจุบัน พบว่าการอัดรีดอลูมิเนียมต้องมีความสมดุลในการไหลของเนื้ออลูมิเนียมเมื่อผ่านเครื่องอัดรีดและแม่พิมพ์ ผลิตภัณฑ์ที่ผ่านกระบวนการอัดรีดต้องมีขนาดหน้าตัดที่เท่ากัน ซึ่งในการผลิตและออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมไม่มีแบบแผนที่ชัดเจนในการออกแบบแม่พิมพ์ให้เหมาะสม งานวิจัยจึงมุ่งเน้นในการหาค่าที่เหมาะสมในการออกแบบแม่พิมพ์ด้วยการปรับตั้งค่าความยาวแบร์ริง โดยหาความสัมพันธ์ระหว่างการไหลของเนื้ออลูมิเนียมและค่าความยาวแบร์ริง จากการออกแบบการทดลองภายใต้พื้นฐานการกำหนดปัจจัยของกระบวนการอัดรีดผ่านแม่พิมพ์และสร้างแม่พิมพ์ของโรงงานกรณีศึกษาคือทำการออกแบบการทดลองการอัดรีดผ่านแม่พิมพ์และสร้างแม่พิมพ์รูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาดความกว้าง 81 มิลลิเมตร และความหนา 6 มิลลิเมตร กำหนดขนาดความยาวของแบร์ริงเป็น 4 เท่าของความหนาชิ้นงาน โดยการกำหนดค่าแบร์ริงมาจากสภาพการทำงานในปัจจุบันเป็นค่าเริ่มต้นที่ใช้ในการออกแบบของทางโรงงานดังแสดงในรูปที่ 7 โดยกำหนดค่าปัจจัยในการปรับตั้งค่าเครื่องอัดรีดคงที่คือ วัสดุ

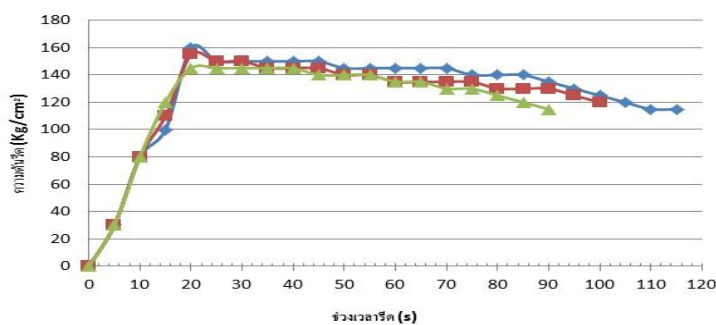


อลูมิเนียมเกรด AA6063 ทำการอัดรีดแท่งอลูมิเนียมแบบต่อเนื่อง 3 ลูก, แท่งอลูมิเนียมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 114 มิลลิเมตรและมีขนาดความยาวของแท่งอลูมิเนียม 240 มิลลิเมตร, อุณหภูมิ Pre-Heat เริ่มต้นของแท่งอลูมิเนียม 450 ± 5 °c, อุณหภูมิ Pre-Heat เริ่มต้นของแม่พิมพ์ 450 ± 5 °c, อุณหภูมิคอนเทรนเนอร์ครั้งที่ 420 °c และความเร็วแรม 9cm/s [11] (O.O. Onawola and M.B. Adeyemi, 2003)



รูปที่ 7 แสดงแบบตัวอย่างรูปหน้าตัดชิ้นงาน

จากการทดสอบการอัดรีดแม่พิมพ์ที่มีค่าความยาวแปริ่ง 4 เท่าของความหนาชิ้นงานเท่ากันทั้งหน้าตัดพบว่า แรงดันในการอัดรีดแท่งอลูมิเนียมทั้ง 3 ลูกมีแรงดันที่ใกล้เคียงกัน โดยในช่วงแรกความดันของลูกที่ 1 และลูกที่ 2 มีแรงดันที่สูงและระยะเวลาในการอัดรีดที่มากกว่าลูกที่ 3 เนื่องจากสองลูกแรกเป็นการอัดรีดที่ยังไม่มีความเสถียรภาพ โดยสังเกตความแตกต่างได้จากความดันในช่วง 80 -120 kg/cm² พบว่ามีความไม่สอดคล้องกันของแรงดัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเลือกวิเคราะห์พฤติกรรมการอัดรีดของลูกที่ 3 เป็นหลัก เพราะกระบวนการอัดรีดเข้าสู่สถานะที่มีความเสถียรภาพแล้วดังแสดงในรูปที่ 8



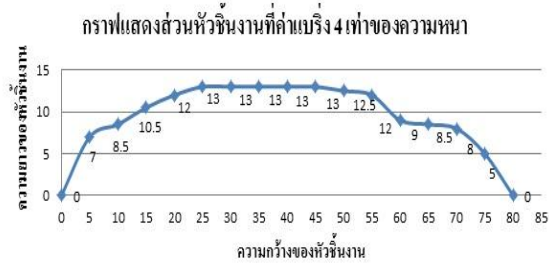
รูปที่ 8 ความดันอัดรีดอลูมิเนียม ที่ค่าแปริ่ง 4 เท่า 3 ลูกติดต่อกัน

การอัดรีดแท่งอลูมิเนียมลูกที่ 3 จากรูปที่ 8 แสดงให้เห็นความดันอัดรีดช่วงแรกเพิ่มขึ้นจาก 0 ถึง 145 kg/cm² ที่เวลา 20 วินาที โดยการเพิ่มขึ้นของแรงดันนั้นเกิดจากการเคลื่อนที่เดินหน้าของแรมทำให้อลูมิเนียมถูกอัดตัวและความดันสูงขึ้นจากนั้นความดันจะค่อยๆ ลดลงเนื่องจากการหดสั้นลงของแท่งอลูมิเนียมจนถึงจุดต่ำสุดที่ 115 kg/cm² ที่เวลา 95 วินาที

เมื่อพิจารณาขอบส่วนแรกของหน้าตัดของผลิตภัณฑ์ที่ทดสอบพบว่า การไหลของชิ้นงานไม่สมดุลทั่วทั้งหน้าตัดของชิ้นงานเนื่องจากโดยธรรมชาติแล้วพฤติกรรมการไหลของเนื้ออลูมิเนียมขณะอัดรีดนั้นส่วนที่ใกล้บริเวณจุดศูนย์กลางจะมีความเร็วในการไหลที่มีมากกว่าจุดที่ไกลออกไป [4] (P.K. Saha, 1998) เมื่อนำมาทดสอบการอัดรีดแม่พิมพ์ที่มีค่าความยาวของแปริ่ง 4 เท่าของความหนาของชิ้นงาน พบว่าการไหลตัวของเนื้ออลูมิเนียมโดยเฉพาะบริเวณขอบส่วนปลายของชิ้นงานจะเกิดการไหลตัวที่ช้ากว่าบริเวณจุดศูนย์กลาง จึงส่งผลทำให้เกิดการไหลที่ไม่

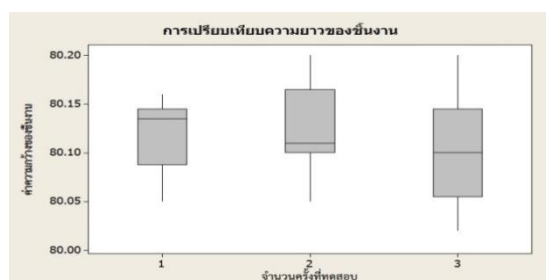


สมคูลกัน [5] (Sheppard, 1999) และเนื่องจากการปรับตั้งของเครื่องจักร ไม่ได้ศูนย์กลางแต่เอนไปทางซ้ายของแม่พิมพ์ ทำให้ขอบส่วนปลายของชิ้นงานเอียงไปทางด้านขวา ดังแสดงในรูปที่ 9 เมื่อพิจารณารูปร่างของส่วนปลายชิ้นงานพบว่า ความยาวจากขอบชิ้นงานถึงปลายหัวของชิ้นงานมีค่าความยาวส่วนแรกสูงสุดเท่ากับ 13 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 ส่วนแรกของหน้าตัดอลูมิเนียมที่พ้นจากปากแม่พิมพ์เมื่อใช้ขนาดเบี่ยงเท่ากับ 4 เท่า

เมื่อพิจารณาค่าขนาดความกว้างและความหนาของผลิตภัณฑ์จากการทดสอบที่ผ่านการอัดรีดแท่งอลูมิเนียมต่อเนื่อง 3 ลูก ซึ่งค่าที่ได้จากการวัดขนาดโดยเวอร์เนียร์งานวิจัยนี้จะแยกออกมาเป็น 3 ค่า โดยวัดขนาดความกว้างและความหนาจำนวน 10 จุดต่อ บิลเลต 1 ลูก ผลจากการทดสอบพบว่าค่าความกว้างในการอัดรีดลูกที่ 1 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 80.14 มิลลิเมตร ลูกที่ 2 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 80.11 มิลลิเมตร และลูกที่ 3 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 80.10 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 10 โดยในธรรมชาติการขึ้นรูปร้อนจะมีค่าการหดตัว 1 เปอร์เซ็นต์ [7] (Geun, L. & Yong, T. I., 2002) และขนาดความหนาของชิ้นงานมีค่าคงตัวที่ 5.96 มิลลิเมตร และจะเห็นได้ว่าค่าความกว้างในแต่ละลูกของการอัดรีดมีผลต่างกันสูงสุด 0.04 มิลลิเมตร ซึ่งขนาดที่ได้ยังไม่เป็นไปตามข้อกำหนด โดยขนาดที่กำหนดคือ 81 มิลลิเมตร

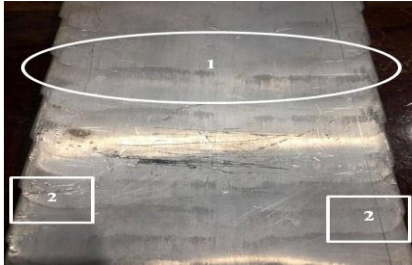


รูปที่ 10 การเปรียบเทียบขนาดความกว้างของชิ้นงานที่ค่าเบี่ยง 4 เท่า

เมื่อพิจารณาจากผิวของชิ้นงานและรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์ทดสอบที่ผ่านการอัดรีดพบว่าในการอัดรีดบิลเลตลูกที่ 1 ผิวของเนื้ออลูมิเนียมดังแสดงในรูปที่ 11 ในวงกลมที่ 1 มีรอยการไหลตัวของเนื้ออลูมิเนียมที่ไม่เท่ากัน โดยเฉพาะบริเวณที่ไกลจากจุดศูนย์กลางของชิ้นงาน และในกรอบสี่เหลี่ยมที่ 2 จะเห็นได้ว่าการเหนียวรั้งของการไหลและเกิดรอยขักรบริเวณขอบของชิ้นงานขึ้นควบคู่กันดังแสดงในรูปที่ 12 โดยทำการวัดขนาดช่วงความกว้างของส่วนที่เกิดการเหนียวรั้งของการไหลนี้ได้ 8 มิลลิเมตร และทำการวัดขนาดความยาวของตำหนิซึ่งลักษณะที่เป็นรอยขักรที่ขอบชิ้นงานด้วยตลับเมตรในการอัดรีดลูกที่ 1 วัดได้ 136 เซนติเมตรแล้วชิ้นงานจึงคงรูปร่างต่อมาทำการอัดรีดลูกที่ 2 วัดความยาวรอยขักรได้ 40 เซนติเมตรและลูกที่ 3 วัดความยาวรอยขักรได้ 30 เซนติเมตรเมื่อพิจารณาการ



กระจายตัวของความเร็ววนผิวชิ้นงาน พบว่าการไหลของเนื้ออลูมิเนียมที่ใกล้กับตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแม่พิมพ์ จะไหลเร็วกว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับผนังคอนเทนเนอร์ซึ่งตรงกับพฤติกรรมการไหลของการอัดรีดอลูมิเนียมแล้วพิจารณากับการไหลที่บริเวณหน้าตัดของแม่พิมพ์ที่มีความยาวแบร์ริง 4 เท่าของความหนา เท่ากันทั้งหน้าตัดจึงมีพื้นที่เกิดแรงเสียดทานเยอะส่งผลให้การไหลของเนื้ออลูมิเนียมส่วนขอบปลายชิ้นงานเกิดแรงเสียดทานมากขึ้นจึงเป็นสาเหตุของการเกิดตำหนิปรากฏขึ้น[10] (Flitta, I. & Sheppard, T., 2003)

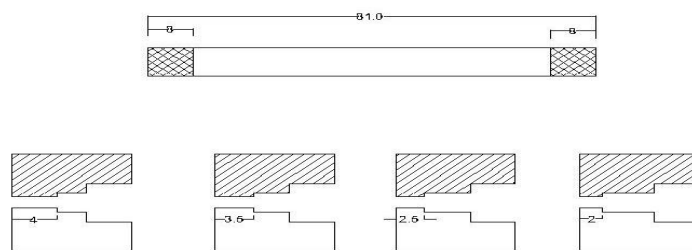


รูปที่ 11 รอยตำหนิบนผิวของชิ้นงาน



รูปที่ 12 ลักษณะรอยขั๊กที่ขอบชิ้นงาน

จากการวิเคราะห์ผลการทดสอบการอัดรีดแม่พิมพ์ที่ค่าแบร์ริง 4 เท่าของความหนาของชิ้นงานเกิดตำหนิขึ้นจากการไหลของเนื้ออลูมิเนียมที่ไม่สมดุลกันทั้งหน้าตัดเพื่อให้เกิดความสมดุลทั้งหน้าตัดที่มากขึ้นงานวิจัยนี้จึงทำการออกแบบการทดลองใช้ค่าแบร์ริงที่ลดลงเพื่อลดพื้นที่แรงเสียดทานบริเวณหน้าตัดแม่พิมพ์ที่เนื้ออลูมิเนียมไหลเข้าได้แก่ ส่วนปลายขอบชิ้นงานจากรูปที่ 11 ในสี่เหลี่ยมที่ 2 ซึ่งวัดขนาดความกว้างในส่วนตำแหน่งนี้ได้ 8 มิลลิเมตร จากขอบชิ้นงานทั้งสองข้างแล้วทำการลดค่าแบร์ริงโดยจะทำการทดสอบการอัดรีดและกำหนดลดค่าแบร์ริงเฉพาะส่วนปลายขอบชิ้นงานทั้ง 2 ข้างหน้ากว้าง 8 มิลลิเมตร เพื่อพิจารณาความแตกต่างของชิ้นงานตามค่าความยาวของแบร์ริงที่เปลี่ยนไปดังนี้ 1. กำหนดความยาวแบร์ริงที่ 3.5 เท่าของความหนา 2. กำหนดความยาวแบร์ริงที่ 2.5 เท่าของความหนา 3. กำหนดค่าความยาวแบร์ริงที่ 2 เท่าของความหนาตามลำดับดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสดงความกว้างและความยาวของค่าแบร์ริงที่จะนำมาทดสอบ

เมื่อได้ผลการทดสอบแล้วจะนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาผลกระทบของความยาวแบร์ริงกับการไหลของเนื้ออลูมิเนียมได้อย่างชัดเจน

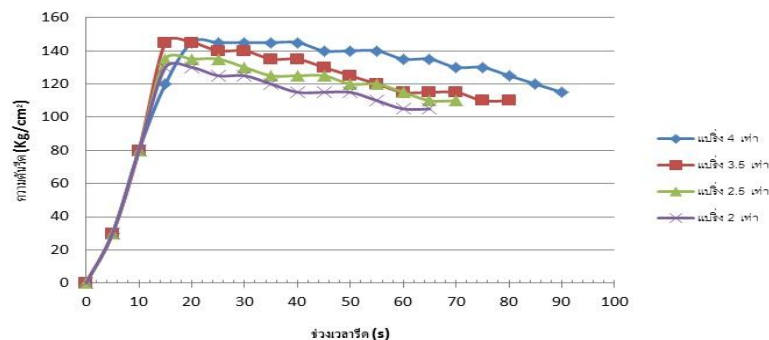
4. ผลการวิจัย

จากการทดสอบการอัดรีดแม่พิมพ์ทั้ง 4 ค่า ได้แก่ ขนาดความยาวแบร์ริง 4, 3.5, 2.5 และ 2 เท่าของความหนาชิ้นงานได้ผลการทดสอบอัดรีดและเปรียบเทียบผลดังนี้



4.1 แรงดันในการอัดรีด

จากแรงดันในการอัดรีดแม่พิมพ์ที่ค่าเบี่ยง 4, 3.5, 2.5 และ 2 เท่าของความหนาชิ้นงาน โดยจะใช้ตัวแทนค่าแรงดันลูกบิลเลตที่ 3 ในการอัดรีดของแต่ละค่าเบี่ยงมาทำการเปรียบเทียบเนื่องจากเป็นค่าที่เสถียรแล้ว[3](สวัสดี ภูมิ สวัสดี 2545)จากรูปที่ 14 แสดงความดันอัดรีดเห็นได้ว่าการอัดรีดลูมิเนียมที่ค่าเบี่ยง 4 เท่าจะมีแรงดันที่สูงที่สุดถึง 145 kg/cm² โดยใช้เวลาในช่วงแรกนี้ 20 – 40 วินาทีเนื่องจากแรงเสียดทานของเนื้อลูมิเนียมภายในกระบอบคอนเทนเนอร์และแรงเสียดทานภายในแม่พิมพ์สูงจึงทำให้ความดันในการอัดรีดใช้เวลามากในช่วงแรกและแรงดันจึงค่อยลดลงเนื่องจากการหดตัวของแท่งลูมิเนียมจนถึงจุดที่ต่ำที่สุดที่ 115 kg/cm² ที่เวลา 95 วินาที และที่ค่าเบี่ยง 3.5 เท่าจะมีแรงดันสูงสุดที่ 145 kg/cm² ที่เวลา 15 วินาที แล้วแรงดันจึงค่อยลดลงจนถึงจุดต่ำสุดที่ 110 kg/cm² ที่เวลา 80 วินาทีและที่ค่าเบี่ยง 2.5 เท่าจะมีแรงดันสูงสุดที่ 135 kg/cm² ที่เวลา 15 วินาที แล้วแรงดันจึงค่อยลดลงจนถึงจุดต่ำสุดที่ 110 kg/cm² ที่เวลา 70 วินาที สุดท้ายค่าเบี่ยง 2 เท่าจะมีแรงดันสูงสุดที่ 130 kg/cm² ที่เวลา 15 วินาที แล้วแรงดันจึงค่อยลดลงจนถึงจุดต่ำสุดที่ 105 kg/cm² ที่เวลา 65 วินาทีหลังจากนำผลแรงดันอัดรีดมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลพบว่าแรงดันอัดรีดของค่าเบี่ยงในการทดสอบมีผลต่อแรงดันอัดรีดและความเร็วในการไหลของเนื้อลูมิเนียมค่าเบี่ยงที่มีพื้นที่หน้าตัดมากก็จะมีแรงเสียดทานมากและเวลาในการอัดรีดต่อบิลเลตหนึ่งลูกก็จะใช้เวลานานเมื่อเทียบกับค่าเบี่ยงที่มีพื้นที่หน้าตัดน้อยแรงเสียดทานก็จะน้อยและเวลาที่ใช้ในการอัดรีดก็จะสั้นลงทำให้ได้ผลผลิตที่มากขึ้นในเวลาเท่ากัน



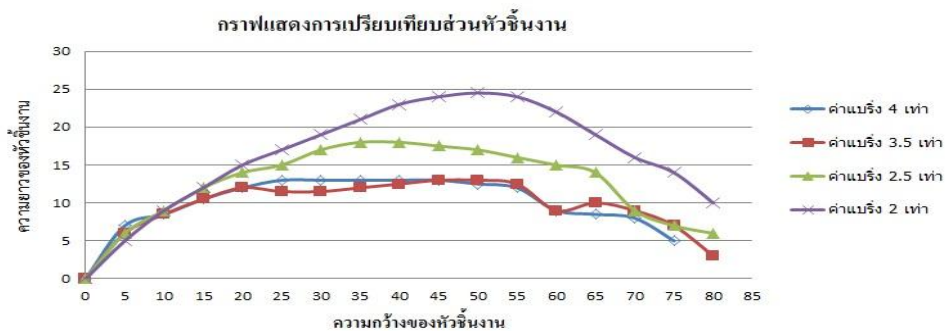
รูปที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบแรงดันการอัดรีดของค่าเบี่ยงที่ต่างกัน

4.2 ลักษณะการไหลตัวในส่วนแรกของชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาส่วนหัวของหน้าตัดของผลิตภัณฑ์ทดสอบที่ผ่านการอัดรีดพบว่า จากการทดสอบการอัดรีดโดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบส่วนหัวออกมาเป็นกราฟแสดงผลจากการวัดขนาดความยาวหน้าตัดส่วนหัวของชิ้นงานแต่เนื่องจากการอัดรีดจริงเครื่องจักร ไม่ได้ศูนย์กลางส่งผลให้ชิ้นงานส่วนหัวที่ออกมาบิดเสียรูปไปในทางส่วนขวาของหัวชิ้นงานและการอัดรีดเป็นการขึ้นรูปร้อนที่อุณหภูมิที่เกิดขึ้นในกระบวนการจะมีการเปลี่ยนรูปทางด้านพลาสติก (Plastic Deformation) และแรงเสียดทาน มักจะเกิดการถ่ายเทความร้อนขึ้น จากความร้อนที่ถ่ายเทระหว่างบิลเลตกับองค์ประกอบต่างๆ และ ความร้อนที่ส่งผ่านออกไปกับลูมิเนียมที่อัดรีดแล้ว [12] (Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., 1996) โดยลักษณะการไหลตัวในส่วนแรกนี้จะเกิดขึ้นจากการอัดรีดบิลเลตลูกที่ 1 ของทุกการทดสอบ เพราะเป็นการอัดรีดแบบต่อเนื่องบิลเลตลูกที่ 2 และบิลเลตลูกที่ 3 จึงไม่มีส่วนนี้เกิดขึ้นและผลที่ได้ค่าพบว่าเบี่ยง 4



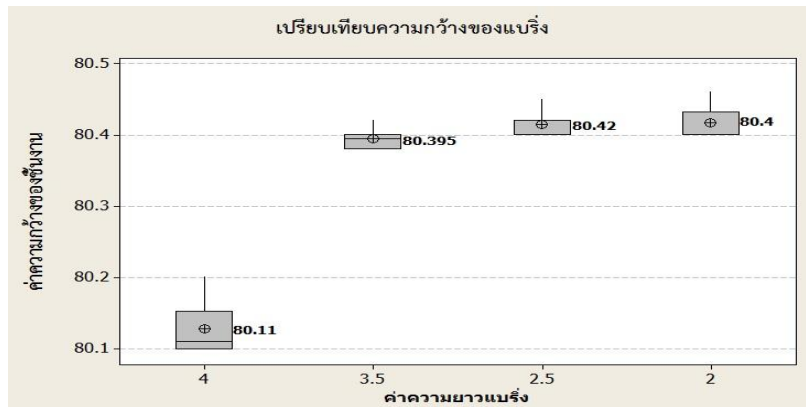
เท่า กับที่ ค่าเบร้ง 3.5 มีความยาวส่วนหัวชิ้นงานที่ใกล้เคียงกันที่ความยาวสูงสุดที่ 13 มิลลิเมตรและที่ค่าเบร้ง 2.5 เท่า มีความยาวส่วนหัวสูงสุดที่ 18 มิลลิเมตรและสุดท้ายที่ค่าเบร้ง 2 เท่า มีความยาวส่วนหัวสูงสุดที่ 24.5 มิลลิเมตร ซึ่งมีผลความยาวส่วนหัวต่างกันระหว่างค่าเบร้ง 4 เท่ากับค่าเบร้ง 2 เท่าถึง 11.5 มิลลิเมตร จากผลการทดสอบสรุปได้ว่า ในขณะที่อัตราบิดเลตลูกที่ 1 เป็นการอัตราที่ยังไม่ได้เสถียรภาพจึงส่งผลให้ส่วนแรกของชิ้นงานนี้มีการไหลตัวที่ยังไม่สมดุลกันแต่สามารถบ่งบอกได้ถึงความเร็วในการไหลตัวผ่านแม่พิมพ์ของเนื้ออลูมิเนียมสังกะสีได้ว่าค่าความยาวเบร้งที่น้อยลงจะมีการไหลตัวของเนื้ออลูมิเนียมเร็วขึ้นส่งผลให้ความยาวที่วัดได้จากส่วนหัวยาวขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบส่วนหัวของชิ้นงานของค่าเบร้งที่ต่างกัน

4.3 ขนาดของชิ้นงานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป

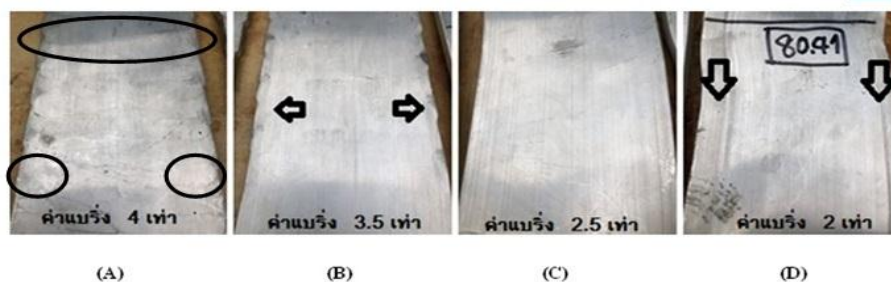
จากผลการวัดขนาดความกว้างของชิ้นงานในแต่ละค่าเบร้งดังรูปที่ 16 เริ่มต้นจากค่าเบร้ง 4 เท่าของความหนาชิ้นงานวัดขนาดความกว้างเฉลี่ยได้ 80.11 มิลลิเมตรความหนาวัดได้ 5.96 มิลลิเมตรเนื่องจากการไหลของเนื้ออลูมิเนียมความเสียดทานเท่ากันทั้งหน้าตัดในขณะที่ไหลผ่านปากแม่พิมพ์ทำให้ปลายทั้งสองข้างไหลได้ช้ากว่าส่วนตรงกลางหน้าตัดตามพฤติกรรมกรไหลตัวของอลูมิเนียมในการอัตรา [6] (Miles, N., Evans, G., & Middleditch, A. 1996) โดยขณะที่ค่าเบร้ง 3.5 เท่าความกว้างของชิ้นงานเฉลี่ยที่ 80.39 มิลลิเมตรความหนา 6 มิลลิเมตรเมื่อลดค่าความยาวเบร้งส่วนปลายทั้งสองข้างลงทำให้ความเร็วในการไหลในส่วนปลายเร็วขึ้นมีผลต่อขนาดชิ้นงานมากขึ้น โดยใช้ค่าความยาวเบร้ง 2.5 และ 2 เท่าของความหนา ความกว้างเฉลี่ยที่ 80.42 มิลลิเมตร และ 80.41 มิลลิเมตร ความหนาที่ 6 มิลลิเมตรเท่ากัน ตามลำดับ ซึ่งความยาวเบร้งที่ลดลงของสองค่านี้ไม่มีผลต่างกันต่อขนาดความกว้างของชิ้นงานและการหดตัวของชิ้นงานเฉลี่ย อยู่ที่ 0.73 เปอร์เซ็นต์ จากรูปที่ 15 สังเกตได้ว่าค่าความยาวเบร้งที่ 4 เท่าของความหนามีค่าที่ต่ำที่สุดและมีความแปรปรวนมากที่สุด โดยค่าความยาวเบร้งที่ 3.5 เท่า 2.5 เท่า และ 2 เท่า มีค่าที่ไม่ต่างกันมาก โดยสังเกตจากค่า Median ในแต่ละการทดสอบ ค่าที่มีความแปรปรวนน้อยที่สุดและค่า Median มากที่สุดคือ ค่าความยาวเบร้ง 2.5 เท่าของความหนาซึ่งหมายความว่าค่าที่ได้ผลใกล้เคียงกับข้อกำหนดมากที่สุดคือ 81 มิลลิเมตร



รูปที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบความกว้างทั้ง 4 ความยาวแบริ่ง

4.4 กำหนดนิพจน์งานที่ได้จากการอัดขึ้นรูป

จากผิวของชิ้นงานและรอยตำหนิของผลิตภัณฑ์ทดสอบที่ผ่านการอัดรีดพบว่าในการอัดรีดบิลเลตลูกที่ 1 ผิวของชิ้นงานในการอัดรีดที่ค่าแบริ่ง 3.5 เท่าของความหนาชิ้นงานดังรูปที่ 17 ภาพ B สังเกตได้ว่าบริเวณที่ถูกครีมีรอยตำหนิที่ขอบชิ้นงานลดลงเมื่อเทียบกับภาพ A และดูผลความยาวรอยขั๊กจากตารางที่ 4.1 พบว่า ที่ค่าความยาวแบริ่ง 3.5 เท่าของความหนาชิ้นงานในการอัดรีดบิลเลตลูกที่ 1 พบรอยขั๊ก ยาว 100 cm การอัดรีดบิลเลตลูกที่ 2 และลูกที่ 3 ไม่พบรอยขั๊กปรากฏขึ้นเนื่องจากการลดค่าแบริ่งที่ปลายขอบชิ้นงานลงทำให้แรงเสียดทานบริเวณปลายขอบชิ้นงานน้อยลงส่งผลให้เนื้ออลูมิเนียมมีความเร็วในการไหลมากขึ้น [11] (O.O. Onawola and M.B. Adeyemi, 2003) และที่ค่าแบริ่ง 2.5 เท่าของความหนาภาพ C ผิวของชิ้นงานมีการไหลที่สมดุลมากขึ้นเนื่องจากไม่พบรอยตำหนิใดเกิดขึ้นตั้งแต่การทดสอบการอัดรีดบิลเลตลูกที่ 1-3 ที่ค่าแบริ่ง 2 เท่าของความหนาชิ้นงาน ภาพ D พบว่าผิวของชิ้นงานมีรอยไหลขึ้นบริเวณขอบชิ้นงานตามที่ลูกครีมีกำหนดนิพจน์นี้ยาวตลอดการอัดรีดจากการวิเคราะห์พบว่ารอยที่เกิดขึ้นวัดขนาดความกว้างได้ 8 มิลลิเมตรสาเหตุมาจากค่าความยาวแบริ่งที่ 4 เท่าของความหนาชิ้นงาน ดังรูปที่ 17 ภาพ A ความยาวแบริ่งที่ต่างระดับกันมากคือ 4 เท่าของความหนาบริเวณส่วนกลางหน้าตัด และ 2 เท่าของความหนาบริเวณส่วนปลายของหน้าตัดมีสัดส่วนต่างกันถึง 2 เท่า ทำให้ผิวบริเวณปากแม่พิมพ์มีความต่างระดับที่มากเกินไปจึงส่งผลต่อผิวของชิ้นงานที่ผ่านการผลิตออกมา [13] (P.Garbacz, T.Giesko, A.Mazurkiewicz, 2015) ในการอัดรีดค่าแบริ่งส่งผลต่อผิวของชิ้นงานและเกิดรอยตำหนิต่างๆโดยตรงจากการทดสอบการอัดรีดการให้ค่าแบริ่งในส่วนที่ติดกันไม่ควรแตกต่างกันเกิน 2 เท่าหรือ 50 เปอร์เซ็นต์เพราะจะทำให้เนื้ออลูมิเนียมที่ไหลผ่านแบริ่งที่มีความต่างระดับกันจะเกิดรอยขึ้นที่ผิวชิ้นงานทำให้ชิ้นงานที่ผ่านการอัดรีดมีตำหนิได้



รูปที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบผิวจากการทดสอบชิ้นงาน



ตารางที่ 4.1 ความยาวของตำหนิชนิดรอยขั๊กในการทดสอบการอัดรีด

ค่าความยาวเบร้ง (เท่าของความหนา)	บิลเลต ลูกที่ 1	บิลเลต ลูกที่ 2	บิลเลต ลูกที่ 3
4	126 เซนติเมตร	40 เซนติเมตร	30 เซนติเมตร
3.5	100 เซนติเมตร	0	0
2.5	0	0	0
2	0	0	0

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาค่าข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการอัดรีดอลูมิเนียมโดยใช้กระบวนการขึ้นรูปร้อนและได้ทำการศึกษาค่าผลกระทบบางอย่างของความยาวเบร้งต่อการไหลตัวของอลูมิเนียมพบว่ากระบวนการอัดรีดอลูมิเนียม พฤติกรรมการไหลของเนื้ออลูมิเนียมมีผลกระทบต่อชิ้นงานที่ผ่านการอัดรีดและเวลาในการอัดรีด จากการทดสอบได้ทำการลดขนาดความยาวเบร้งในบริเวณส่วนขอบของชิ้นงานที่มีรอยตำหนิเกิดขึ้น และทำการตรวจวัดค่าแรงดันในการอัดรีด, ลักษณะการไหลตัวในส่วนแรกของชิ้นงาน, ขนาดความกว้างกับความหนา และตำหนิที่ได้จากการขึ้นรูปผลที่ได้พบว่าค่าเบร้งที่ได้ค่าที่เหมาะสมที่สุดคือค่าเบร้ง 2.5 เท่าของความหนาชิ้นงานเพราะจากผลการทดสอบค่าเบร้งที่ 2.5 เท่ามีเวลาที่ใช้ในการอัดรีดที่ 70 วินาทีต่อการอัดรีด 1 บิลเลต เมื่อเปรียบเทียบกับค่าเบร้ง 4 เท่าที่ใช้เวลาในการอัดรีด 95 วินาทีต่อการอัดรีด 1 บิลเลต จะมีผลต่าง 25 วินาที และความกว้างของชิ้นงานอยู่ที่ 80.42 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับแบบตามตัวอย่างที่กำหนดไว้ที่ 81 มิลลิเมตร ในส่วนของผิวของชิ้นงานค่าเบร้ง 2.5 เท่าไม่มีตำหนิใดๆเกิดขึ้นและทำการสรุปผลจากการทดสอบรวมดังแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบรวมในการอัดรีดอลูมิเนียมที่ค่าเบร้งต่างกัน

ค่าความยาวเบร้ง (เท่าของความหนา)	เวลาในการอัดรีด (วินาที)	ความกว้างและความหนา	ผิวของชิ้นงานและรอยตำหนิ	เปอร์เซ็นต์การหดตัว (%)
4	95	80.11	มีตำหนิบนผิวงาน	1.09 %
3.5	80	80.39	มีตำหนิบนผิวงาน	0.75 %
2.5	70	80.42	ไม่มีตำหนิบนผิวงาน	0.72 %
2	65	80.41	มีตำหนิบนผิวงาน	0.72%

เอกสารอ้างอิง

1. V.N.S.U. Ammu,V. and P.Mahendiran. (2011). *Optimization of bearing length for controlled material flow in a flat die Aluminium Extrusion* Jawaharlal Nehru Aluminium. Research Development and Design centre, Nagpur.
2. ประเสริฐราชบุรุษประยูร. (2550). การศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียม โดยวิธี ไฟไนต์อิลิเมนต์. ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.



3. สวัสดิ์ ภูมิสวัสดิ์. (2545). การศึกษาอครีคอลลูมิเนียมด้วยวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
4. P.K. Saha. (1998). Plastic Deformation and metal flow in aluminium extrusion Aluminium Extrusion Technology. (pp.6-10).
5. Sheppard,T. (1999). *Extrusion of Aluminium Alloy*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers
6. Miles, N.,Evans, G., &Middleditch, A. (1996). Bearing Length for extrusion dies: rationale, current practice and requirements for automation. *Journal of materials processing Technology*, 72, 162-176
7. Geun,L.&Yong, T.I. (2002). Analysis and die design of at-die hot extrusion process 2 Numerical design of bearing lengths. *International. Journal of Mechanical Sciences*, 44, 935-946
8. TerfaGundu, LivinusTuleun, Oryinalnjour. (2014). Effect of Pocket Die Bearing Geometry on Direct Cold Extrusion Process ResponsesAmerican. *Journal of mechanical engineering*, 2,(3), (pp.65-69).
9. Chao Lin& Rajesh S. Ransing. (2009). An innovative extrusion die layout design approach for single-hole dies. *Journal of Materials Processing Technology*. 209, 3416-3425
10. Flitta, I. & Sheppard,T. (2003). Nature of friction in extrusion process and Its effect on material flow. *Material Science and Technology*. 19, 837 – 846.
11. O.O. Onawola, and M.B. Adeyemi. Warm compression and extrusion test of aluminum. *Material Processing Technology*. 136 (2003), 7-11.
12. Incropera, F.P., and Dewitt, D.P. (1960). *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*. 4th ed. USA. John wiley & Sons, Inc.
13. P. Garbacz, T. Giesko, A. Mazurkiewicz (2015). Inspection method of aluminum extrusion process. *Archives of civil and mechanical engineering*,15, 631-638.