

การแก้ปัญหาคุณภาพผิวชิ้นงานของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลาง โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

ธวัชชัย ไหมด้วง^{1,*}, สถาพร ชาทาคม²

^{1,2}ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมเครื่องกล วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

Received: 21 February 2020

Revised: 12 October 2020

Accepted: 12 October 2020

บทคัดย่อ

ปัญหาการเกิดทางขาว-ทางดำ ในชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ซึ่งผลิตด้วยกระบวนการอัดรีดร้อน ส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานและการยอมรับของผู้บริโภค โดยเฉพาะเมื่อนำไปผ่านกระบวนการอโนไดซ์ ปัญหาดังกล่าวจะยิ่งปรากฏชัดขึ้น ในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองแก้ปัญหาการเกิดทางขาว-ทางดำ บนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยทำการวางรูปแบบของปากแม่พิมพ์อัดรีดเป็น 3 แบบ คือ แบบคู่ขนาน วางมุม 0 องศา (แบบเดิมที่เคยผลิตอยู่) แบบทแยงมุม 22.5 องศา และแบบทแยงมุม 45 องศา ผลจากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ พบว่า การวางแบบคู่ขนาน เกิดการสะสมความร้อนบริเวณแกนกลางของแม่พิมพ์ ซึ่งจะลดลงเมื่อปรับมุมเอียง ในการทดลองได้ทำการผลิตแม่พิมพ์และขึ้นรูปชิ้นงานในแบบคู่ขนานและแบบทแยงมุม 45 องศา ซึ่งพบว่าเมื่อปรับมุมเป็น 45 องศา การเกิดปัญหาทางขาว-ทางดำ ลดลงจาก 50 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสามารถลดข้อเสียในกระบวนการผลิตได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : อลูมิเนียมโปรไฟล์ แม่พิมพ์อัดรีดร้อน ไฟไนต์เอลิเมนต์ ข้อบกพร่องจากการอัดขึ้นรูป ทางขาว-ทางดำ

*ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: m.tawatjai92@gmail.com

The investigate of White and Black Lines Defect for Hot Extrusion Die Process of Hollow Aluminum Profiles by Finite Element Method

Tawatchai Maidung^{1,*}, Sathaporn Chatakom²

^{1,2} Department of Mechanical Engineering Technology, College of Industrial Technology
King Mongkut's University of Technology North Bangkok

Received: 21 February 2020

Revised: 12 October 2020

Accepted: 12 October 2020

Abstract

The black and white lines defect in the aluminum extruded profile is one of the problems that lead to the reject of the product by the customers, especially after it has been treated with the anodized procedure. This research experimented with three methods to reduce the black and white lines defect by using the finite element method (FEM) and adjusting three ways of the profile layout, namely, the original parallel (0 degrees angle) layout, the 22.5 degrees angle layout, and the 45 degrees angle layout. The results from FEM show that the heat accumulation occurs in the axis zone of the die in the 0 degree die layout, which will decrease when the layout is adjusted in increasing angles. The extrusion experiment shows a good result for die layout of 45-degree angle which can reduce the defect from 50 percent to 4 percent, resulting in high level of reducing waste product in the production process.

Keywords: Aluminum profiles, Hot extrusion die, Finite element, Extrusion defect, White lines, Black Lines

*Corresponding author; E-mail: m.tawatchai92@gmail.com

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การอัดรีดร้อนเป็นกระบวนการที่ใช้สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยจะเริ่มจากการนำแท่งอลูมิเนียม (Aluminum billet) Sriprapai (2001) มาให้ความร้อน แล้วป้อนเข้าไปในกระบอกรีด (Container) จากนั้นแกนกระทุ้ง (Ram) จะทำการอัดแท่งอลูมิเนียมด้วยแรงดันสูงผ่านแม่พิมพ์อัดรีด (Die) ที่ผ่านการให้ความร้อนมาแล้วเช่นกัน อลูมิเนียมที่ถูกอัดรีดจะไหลผ่านแม่พิมพ์ออกมาและมีรูปร่างตรงตามลักษณะของแม่พิมพ์ที่นำมาใช้อัดรีด รูปร่างของชิ้นงานก็จะถูกกำหนดให้เหมาะสมกับลักษณะของการใช้งาน

ปัญหาสำคัญที่มักเกิดขึ้นกับชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ก็คือ ปัญหาของผิวชิ้นงาน เพราะว่าผิวของชิ้นงานนั้นจะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของชิ้นงานนั้นๆ หนึ่งในปัญหาที่เกิดขึ้นกับผิวชิ้นงานของงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ก็คือปัญหา “ทางขาว-ทางดำ” ซึ่งปัญหานี้จะมีลักษณะการเกิดขึ้นเป็นแถบสีเทาขาวเทาไปตามแนวยาวของอลูมิเนียมโปรไฟล์ โดยปกติแล้วปัญหา ทางขาว-ทางดำ จะไม่ปรากฏขึ้นในทันทีหลังจากที่ทำการอัดรีดขึ้นรูป แต่จะปรากฏให้เห็นหลังจากที่ทำการกัดผิวชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ด้วยสารเคมี A.F.M. Arif et al. (2002) เนื่องจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น หากเกิดขึ้นแล้วจะไม่สามารถแก้ไขให้หายไปได้ จึงจำเป็นต้องทำการป้องกันไม่ให้เกิดปัญหานี้เกิดขึ้น โดยการศึกษากากระบวนการเกิดของปัญหาเพื่อทำการแก้ไขที่ต้นเหตุ แนวทางในการป้องกันการเกิดปัญหาทางขาว-ทางดำคือการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยวิเคราะห์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ Gang, Jie and Jurek (2009) เพื่อหาข้อบกพร่องของการออกแบบแม่พิมพ์ที่จะเกิดขึ้น ก่อนที่จะทำการผลิต และหากพบว่าผลการวิเคราะห์ไม่เป็นที่พอใจ กล่าวคือมีแนวโน้มว่าจะเกิดปัญหาขึ้นที่ชิ้นงาน ก็จะมีการปรับปรุงการออกแบบและทำการวิเคราะห์ใหม่อีกครั้ง จนกว่าผลการวิเคราะห์เป็นที่พึงพอใจ และไม่มีปัญหาเกิดขึ้นกับชิ้นงาน จากนั้นจึงนำการออกแบบนั้นไปใช้ในการสร้างแม่พิมพ์ เพื่อนำไปใช้ในกระบวนการผลิตต่อไป

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลวงเพื่อลดการเกิดปัญหาทางขาว-ทางดำ ที่บริเวณผิวชิ้นงาน
2. เพื่อแก้ปัญหการเกิด ทางขาว-ทางดำ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์
3. เพื่อลดปริมาณการเกิดของเสียในระบบการผลิตอลูมิเนียมโปรไฟล์แบบกลวง

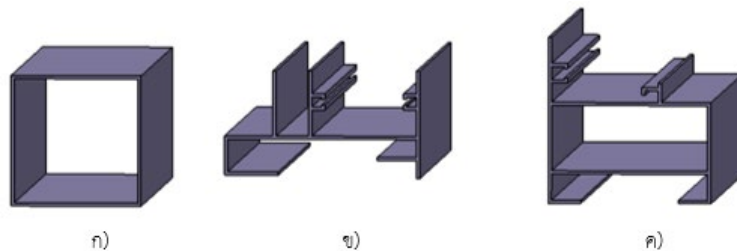
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่เกิดขึ้นกับผิวของชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์แล้วนั้น ผู้วิจัยได้นำปัญหามาศึกษาวิเคราะห์และค้นคว้าหาที่มาของปัญหาจากแหล่งข้อมูลต่างๆ และได้พบว่า A.F.M. Arif et al. (2002) ทำการศึกษาข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ในการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียมและผลกระทบต่อต้นทุนการดำเนินการ มีการกล่าวถึงการเกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ บนผิวของชิ้นงาน ซึ่งเป็นผลมาจากการใช้แรงดันและอุณหภูมิที่สูงเกินไป และไม่สม่ำเสมอ ส่งผลให้เกิดเป็นแถบสีเทาเทาบนผิวของชิ้นงาน และจะไม่ปรากฏให้เห็นจนกว่าจะนำชิ้นงานไปทำการกัดกร่อนด้วยสารเคมี จากข้อมูลที่ได้ทราบ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเอาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณ เพื่อคาดการณ์ผลการอัดรีดที่จะเกิดขึ้น ดังเช่น Pholsongkerah and Sujinda (2015) ทำการศึกษาเพื่อหาความหนาที่เหมาะสมสำหรับแผ่นพื้นไร้คานคอนกรีต โดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แบบแผ่นสามมิติโดยใช้โปรแกรม CSI SAFE เข้ามาช่วยใน

การคำนวณเพื่อทำนายผลความแข็งแรงของแผ่นคอนกรีตเสริมเหล็ก และเป็นแนวทางในการออกแบบในขั้นต้น ทำให้เกิดความสะดวกในการทำงาน ในทำนองเดียวกัน งานอัดรีดร้อนอลูมิเนียมโพรไฟล์ Carmai, Decjarern and Prachprayoon (2007) ทำการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดอลูมิเนียมโดยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยการสร้างโมเดลขึ้นงานอัดรีด อลูมิเนียม บนโปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์ Altair® HyperXtrude และจำลองการอัดรีดโดยใช้เงื่อนไขเดียวกับการอัดรีดขึ้นงานจริง ผลที่ได้รับมีความสอดคล้องกับการอัดรีดจริง Zhi-hao Zhang et al. (2012) มีการนำเสนอเทคโนโลยีการสร้างตาข่าย (Mesh) ใหม่โดยอาศัยวิศวกรรมย้อนกลับ มีประสิทธิภาพในการวิเคราะห์พฤติกรรมการไหลของโลหะ การกระจายอุณหภูมิ ความเครียดที่หยุดนิ่งในห้องเชื่อมและความเครียดบนแม่พิมพ์ เป็นวิธีการที่ดีสำหรับการออกแบบโครงสร้างแม่พิมพ์และการเพิ่มประสิทธิภาพของการอัดขึ้นรูปอลูมิเนียมโพรไฟล์หน้าตัดกลวง รวมถึงการพยากรณ์คุณภาพของผลิตภัณฑ์ Gang, Jie and Jurek (2009) ได้นำกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) เข้ามาช่วยในการจำลองการไหลของอลูมิเนียมผ่านแม่พิมพ์อัดรีดแบบสองช่องที่มีความหนาไม่เท่ากัน โดยจำลองแบบ 3D FEM และพบว่าสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพราะให้ผลที่ถูกต้องและแม่นยำ ทำให้สามารถลดจำนวนครั้งในการทดลองอัดรีดลงได้ Li et al. (2009) ความก้าวหน้าของการจำลองการอัดขึ้นรูปใน DEFORM-3D โดยจำลองกระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (FEM) ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการคำนวณจะให้ผลที่แม่นยำได้ก็ต่อเมื่อค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ป้อนเข้าไปในโปรแกรมมีความถูกต้อง มิฉะนั้นแล้วผลที่ได้ อาจจะไม่มีความคลาดเคลื่อนจนทำให้ผลการจำลองผิดพลาดตามไปด้วย

อลูมิเนียมโพรไฟล์

อลูมิเนียมโพรไฟล์ คือ ชิ้นส่วนที่มีรูปร่างหน้าตัดที่สม่ำเสมอตลอดช่วงความยาว โดยทั่วไปแล้วรูปร่างหน้าตัดของอลูมิเนียมโพรไฟล์นั้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ หน้าตัดกลวง (Hollow Profile), หน้าตัดตัน (Solid Profile) และหน้าตัดกึ่งกลวง (Semi-hollow profile) ดังแสดงในภาพที่ 1

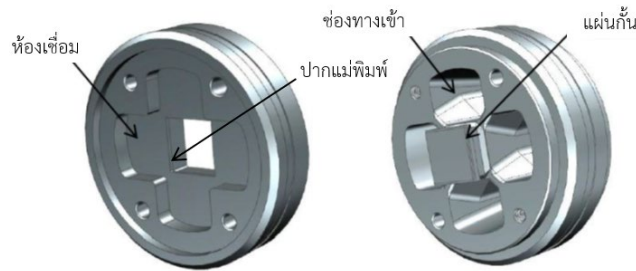


ภาพที่ 1 รูปร่างหน้าตัดของอลูมิเนียมโพรไฟล์ ก) หน้าตัดกลวง (Hollow Profile),
ข) หน้าตัดตัน (Solid Profile) และ ค) หน้าตัดกึ่งกลวง (Semi-hollow profile)

กระบวนการอัดรีดร้อนสำหรับการผลิตอลูมิเนียมโพรไฟล์หน้าตัดกลวง

การอัดรีดอลูมิเนียมโพรไฟล์ที่มีหน้าตัดกลวง ถือเป็นกระบวนการอัดรีดที่ยากที่สุด เนื่องจากจะต้องใช้แม่พิมพ์ที่ออกแบบมาโดยเฉพาะ แม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการอัดรีดงานในลักษณะนี้จะเรียกว่า “Porthole Die” ซึ่งมีลักษณะรูปร่างดังแสดงในภาพที่ 2 แม่พิมพ์ในลักษณะนี้จะประกอบด้วยชิ้นส่วนหลักสองชิ้น คือ แผ่นแม่พิมพ์ (Die Plate) และส่วนที่ทำให้อลูมิเนียมโพรไฟล์มีรูกลวง ชิ้นส่วนสองชิ้นนี้จะประกอบเข้าด้วยกันเป็น Porthole Die ในระหว่างกระบวนการอัดรีดนั้น อลูมิเนียมจะถูกดันให้ไหลแยกออกเป็นสี่ส่วนผ่านทางช่องว่างสี่ช่องที่อยู่บริเวณรอบๆ แผ่นกัน (Mandrel) จากนั้นอลูมิเนียมจะไหลเข้าไปเติมเต็มในช่องว่างภายในแม่พิมพ์ซึ่งทำหน้าที่เป็นห้องเชื่อม

ประสาน (Weld chamber) อลูมิเนียมที่ไหลเข้าไปในห้องเชื่อมประสานจะถูกดันให้เกิดการเชื่อมประสานกันภายใต้แรงดันและอุณหภูมิที่เหมาะสมก่อนที่จะไหลออกมาผ่านทางปากแม่พิมพ์ (Bearing) แผ่นกั้นจะทำหน้าที่กำหนดขนาดของรูกลวงภายในอลูมิเนียมโปรไฟล์ ส่วนแผ่นแม่พิมพ์จะทำหน้าที่กำหนดขนาดรูปร่างภายนอกของอลูมิเนียมโปรไฟล์



ภาพที่ 2 ลักษณะรูปร่างของ Porthole Die. Khansai (2013)

สมบัติของอลูมิเนียม 6063-T5

อลูมิเนียมเกรด 6063-T5 เป็นอลูมิเนียมที่มีส่วนประกอบของ magnesium, silicon และส่วนผสมทางเคมีต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 เหมาะสำหรับงานอุตสาหกรรมทั่วไป เน้นหลักในงานโครงสร้างทางวิศวกรรม และชิ้นส่วนของยานยนต์ สามารถผ่านกระบวนการอโนไดซ์ (anodize) และสามารถเชื่อมประสานได้

ตารางที่ 1 แสดงส่วนผสมทางเคมีของอลูมิเนียมเกรด 6063-T5

AL	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Si	Zn
97.5%	0.1%	0.1%	0.35%	0.45-0.9%	0.1%	0.2-0.6%	0.1%

ปัญหา ทางขาว-ทางดำ

ปัญหา ทางขาว-ทางดำ คือปัญหาที่มักเกิดขึ้นกับผิวของชิ้นงานอลูมิเนียมอัดรีดร้อน มีลักษณะเป็นเส้นแถบสีขาวเทา คล้ายรอยไหม้ หรือเส้นแถบสีขาว ดังแสดงในภาพที่ 3 ซึ่งมีสาเหตุจากการใช้แรงดันและอุณหภูมิที่สูง และมีความไม่สม่ำเสมอ ปัญหาเหล่านี้มักเกิดขึ้นหลังจากการอัดรีด และจะปรากฏขึ้นหลังจากนำเอาชิ้นงานไปทำการกัดกร่อนด้วยสารเคมี



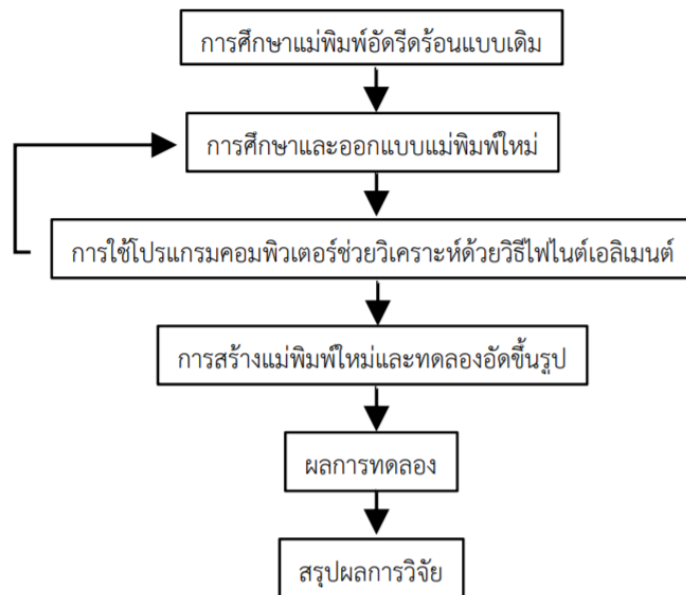
ภาพที่ 3 ปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่เกิดขึ้นบนผิวชิ้นงานอลูมิเนียมอัดรีดร้อน A.F.M.

Arif et al. (2002)

วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยมีขั้นตอนการดำเนินการดังนี้ (ดังแสดงในภาพที่ 4)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษาแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม

ในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม ซึ่งทางบริษัทที่ได้เข้าร่วมงานวิจัย ได้ทำการผลิตอยู่ จากการศึกษพบว่า แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม เป็นแม่พิมพ์อัดรีดชิ้นงานแบบ 2 ช่องพร้อมกันใช้งานร่วมกับเครื่องอัดรีดขนาด 1,100 ตัน และทำจากเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD 61 มีลักษณะการออกแบบการวางโปรไฟล์ชิ้นงานเป็นแบบสี่เหลี่ยม 2 รูป วางคู่ขนานกัน ทำมุม 0 องศา โดยมีหนึ่งด้านของสี่เหลี่ยมหันหน้าเข้าหากัน ดังแสดงในภาพที่ 5



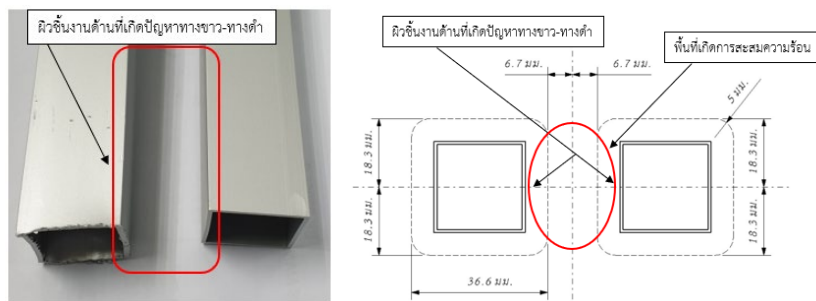
ภาพที่ 5 แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิมที่มีหนึ่งด้านของสี่เหลี่ยมหันเข้าหากัน

การทดลองเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

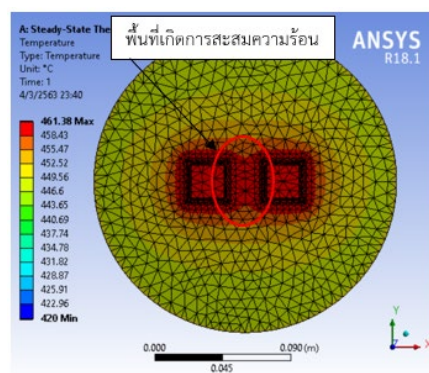
ทำการทดลองอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ ด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิมด้วยเครื่องอัดรีดขนาด 1,100 ตัน โดยใช้แท่งอลูมิเนียม เกรด 6063 T5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ 450 องศาเซลเซียส อุณหภูมิแท่งอลูมิเนียม 460 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิกระบอกอัด 420 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วในการอัด 5 มิลลิเมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การทดลองอัดรีดชิ้นงานด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม



ภาพที่ 7 ลักษณะการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม

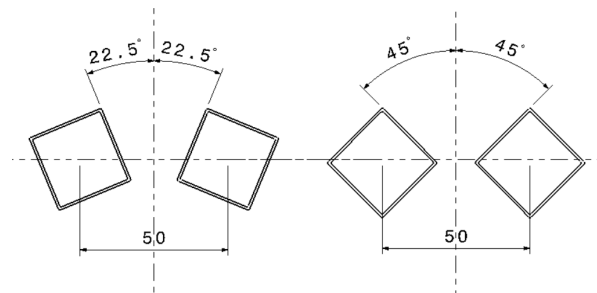


ภาพที่ 8 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

จากการทดลองอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ดังแสดงในภาพที่ 8 แสดงให้เห็นแล้วว่า บริเวณที่เกิดการสะสมความร้อนจะส่งผลให้ชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ขึ้นที่ผิวชิ้นงาน ดังแสดงในภาพที่ 7

การออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่

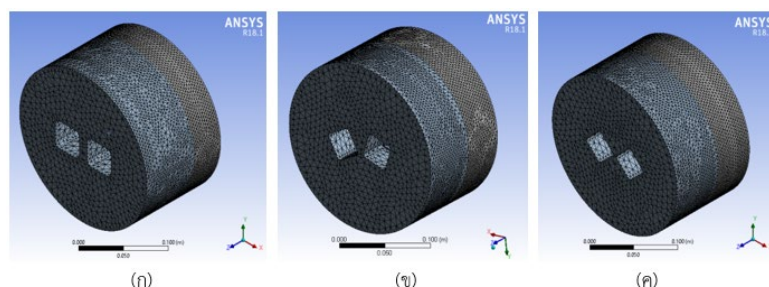
หลังจากทำการศึกษาข้อบกพร่องของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิมแล้ว ผู้วิจัยได้กำหนดแนวทางในการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่ เพื่อแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยการปรับรูปแบบการวางโปรไฟล์ชิ้นงานใหม่ ให้ชิ้นงานด้านที่หันหน้าเข้าหากันเบียดกันเพียงบนพื้นที่ผิวออกจากกัน ช้างละ 22.5 องศา และ 45 องศา ดังแสดงในภาพที่ 9 เพื่อเปรียบเทียบหาความแตกต่างก่อนตัดสินใจออกแบบและสร้างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่



ภาพที่ 9 ลักษณะการออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่ที่ใช้ในการทดลอง

การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

เพื่อหาแนวทางในการอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่มีความเหมาะสม และลดความเสี่ยงต่อการเกิดข้อผิดพลาดในการอัดรีด ผู้วิจัยจึงนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้สำหรับการวิเคราะห์เข้ามาช่วยในการเปรียบเทียบและทำนายผลที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ และส่งผลต่อชิ้นงานที่อัดรีด โดยเริ่มจากการสร้างโมเดลแม่พิมพ์อัดรีดร้อนขึ้นมาในโปรแกรม ANSYS 18.1 ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยเลือกใช้เอลิเมนต์แบบปิรามิดฐานสามเหลี่ยม (Tetrahedron) ชนิด 4 โหนด ควบคุมขนาดเฉลี่ยของเอลิเมนต์ไม่เกิน 5 มิลลิเมตร ที่บริเวณจุดเชื่อมต่อหรือรอยต่อใดๆ จะควบคุมขนาดเอลิเมนต์ที่ขนาดเฉลี่ยไม่เกิน 1 มิลลิเมตร ซึ่งมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 และตั้งค่าการนำความร้อนของเหล็กกล้าคาร์บอนสูง SKD 61 ที่นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ ดังแสดงในภาพที่ 11 จากนั้น ตั้งค่าเงื่อนไขอุณหภูมิแม่พิมพ์อัดรีดสำหรับการวิเคราะห์ ดังแสดงในภาพที่ 12 ซึ่งการตั้งค่าเงื่อนไขอุณหภูมิแม่พิมพ์ใช้เงื่อนไขเดียวกันกับบริษัทผู้ผลิตที่เข้าร่วมกับโครงการวิจัย ดังแสดงในตารางที่ 3



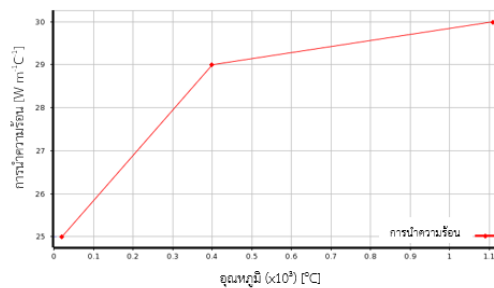
ภาพที่ 10 สร้างแม่พิมพ์จำลองในโปรแกรมวิเคราะห์

ปัญญา เชี่ยวชาญ เบิกบาน คุณธรรม

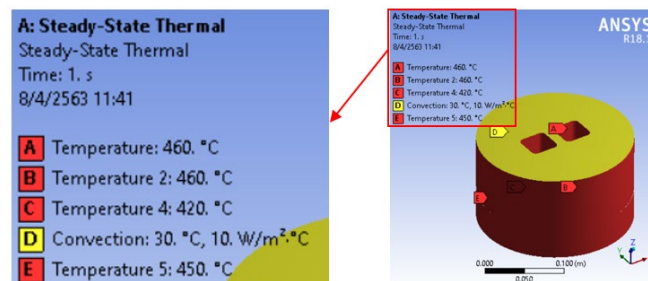
Intellectual, Professional, Cheerfulness, Morality

ตารางที่ 2 ผลการตั้งค่าเอลิเมนต์ของแม่พิมพ์ทั้ง 3 แบบ

แบบแม่พิมพ์	จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนโหนด
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม	83,868	141,861
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา	83,955	142,398
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา	81,179	137,621



ภาพที่ 11 ค่าการนำความร้อนของเหล็ก SKD 61 ที่นำมาทำแม่พิมพ์ Xingshengsteel (2018)

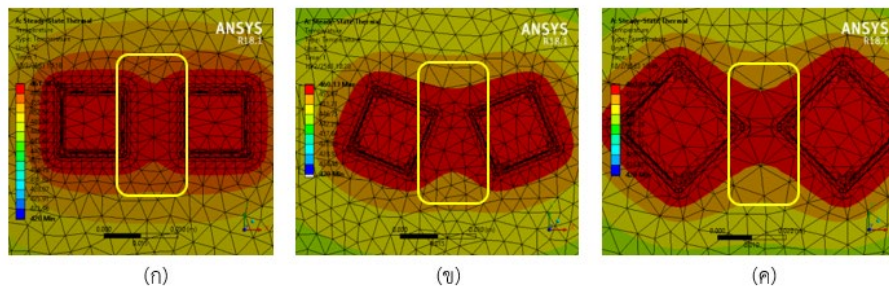


ภาพที่ 12 การตั้งค่าอุณหภูมิแม่พิมพ์ สำหรับการวิเคราะห์

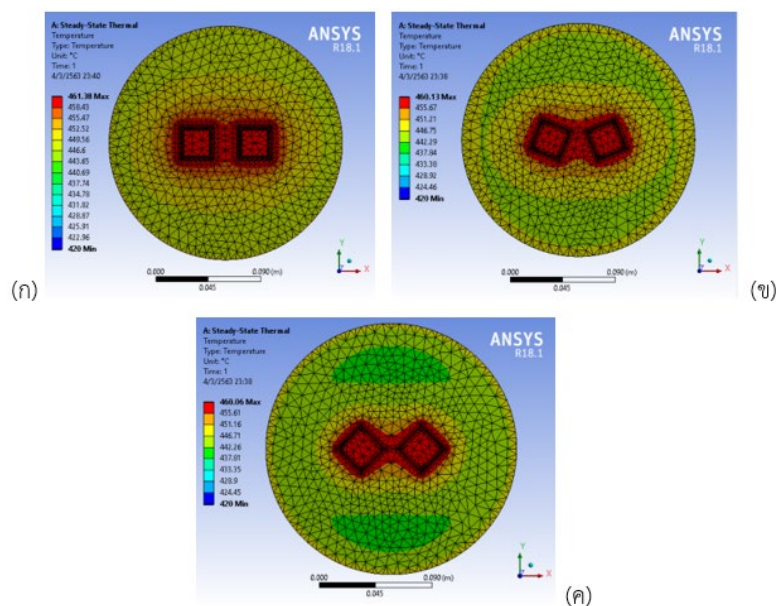
ตารางที่ 3 เงื่อนไขอุณหภูมิในการอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์

เงื่อนไขอุณหภูมิ (Parameter)	ค่ากำหนด (Value)
อุณหภูมิแม่พิมพ์ (Die Temperature)	450 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิแท่งอลูมิเนียม (Billet Preheat)	460 องศาเซลเซียส
อุณหภูมิกระบอกอัด (Container Temperature)	420 องศาเซลเซียส

ผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ แสดงให้เห็นในภาพที่ 13



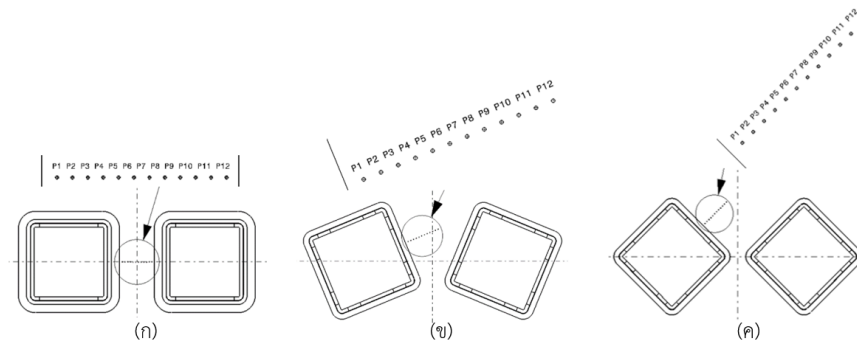
ภาพที่ 13 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ (ก) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม (ข) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา และ (ค) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา



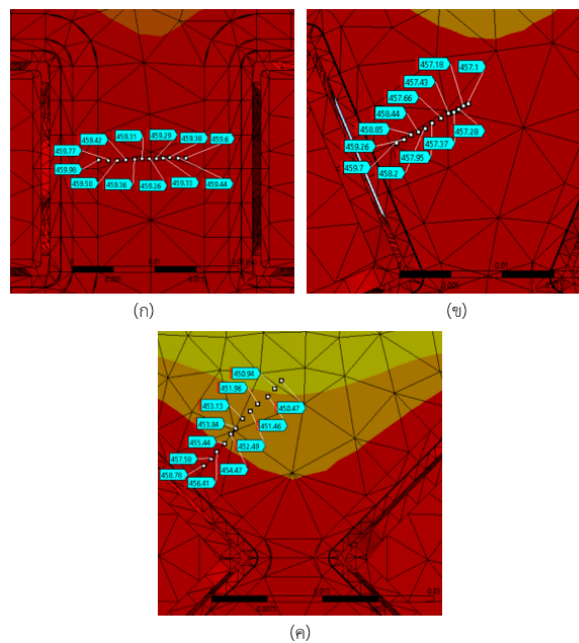
ภาพที่ 14 ผลการวิเคราะห์อุณหภูมิแม่พิมพ์ (ก) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม (ข) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา และ (ค) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา

ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ คือ แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม ในภาพที่ 13 (ก) อ้างอิงตามภาพที่ 14 (ก) และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา ในภาพที่ 13 (ข) อ้างอิงตามภาพที่ 14 (ข) เกิดความร้อนสะสม ที่บริเวณแกนกลางซึ่งเป็นช่องว่างระหว่างโปรไฟล์ทั้งสองในลักษณะที่ไม่ต่างกัน แต่แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ในภาพที่ 13 (ค) อ้างอิงตามภาพที่ 14 (ค) ที่บริเวณพื้นที่ว่างระหว่างโปรไฟล์ ทั้งสองเกิดอุณหภูมิสูงสะสมเป็นบริเวณที่แคบลงกว่าแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา

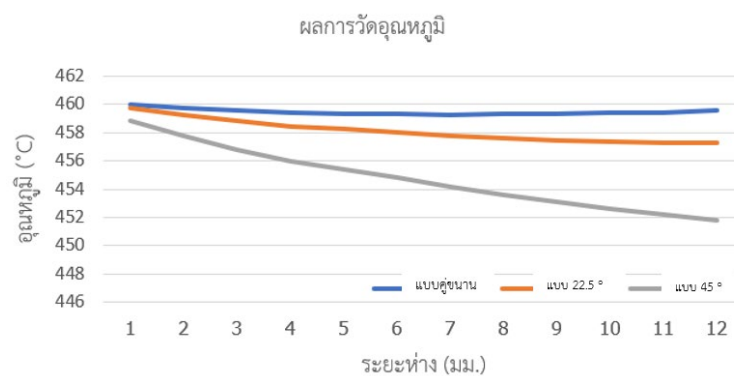
จากผลการวิเคราะห์แม่พิมพ์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ด้วยโปรแกรม ANSYS 18.1 เมื่อนำผลมาทำการวัดค่าอุณหภูมิในแนวตั้งฉากกับผิวที่เกิดปัญหา ทางขวา-ทางดำ โดยวัดค่าอุณหภูมิที่เกิดขึ้นทุก 1 มิลลิเมตร ในแม่พิมพ์ทั้ง 3 แบบ ดังแสดงในภาพที่ 15 จากนั้นนำผลการวัดอุณหภูมิที่ได้ทั้งหมดมาประมวลผล และสร้างเป็นกราฟแสดงผลอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 15 ตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิแม่พิมพ์ (ก) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม (ข) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา และ (ค) แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา



ภาพที่ 16 การวัดอุณหภูมิแม่พิมพ์จากผลวิเคราะห์



ภาพที่ 17 แสดงอุณหภูมิจากแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม แบบทแยงมุม 22.5 องศา และแบบทแยงมุม 45 องศา

จากภาพที่ 17 แสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม มีค่าอุณหภูมิสูงเป็นบริเวณกว้างอย่างต่อเนื่อง และมีการลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา มีค่าอุณหภูมิที่สูงเป็นบริเวณกว้างและลดลงเพียงเล็กน้อยเช่นเดียวกันกับพิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม แต่แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา มีค่าอุณหภูมิสูงเป็นบริเวณที่แคบลงในจุดที่ใกล้กับผิวของชิ้นงานตรงกึ่งกลางของแม่พิมพ์ และอุณหภูมิลดลงเรื่อยๆ เมื่อจุดตรวจวัดอยู่ห่างจากผิวของชิ้นงานออกไป

การสร้างแม่พิมพ์อัดรีดจากแบบแม่พิมพ์ที่ทำการออกแบบใหม่

เนื่องจากผลการวิเคราะห์แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา ให้ผลความร้อนสะสมที่ใกล้เคียงกับแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม ผู้วิจัยจึงไม่นำแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 22.5 องศา มาสร้างแม่พิมพ์ใหม่ แต่แบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา มีผลการวิเคราะห์ที่ดีกว่าเป็นอย่างมาก ผู้วิจัยจึงตัดสินใจ นำการออกแบบของแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา มาใช้สร้างแม่พิมพ์ชุดใหม่ ดังแสดงในภาพที่ 18 ด้วยกระบวนการขึ้นรูปทางกล คือ การกลึง การกัดขึ้นรูปด้วยเครื่องกัด CNC การอบชุบเพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอ การขัดผิวเพื่อปรับแต่งรูปร่าง และความเรียบผิว



ภาพที่ 18 แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา

นำแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วนั้นเข้าสู่กระบวนการอัดรีด โดยเริ่มจากการนำแม่พิมพ์เข้าไปอบที่อุณหภูมิ 450 องศาเซลเซียส และติดตั้งเข้ากับเครื่องอัดรีดขนาด 1,100 ตัน ในขณะเดียวกันก็ทำการอบแท่งอลูมิเนียม (Billet) เกรด 6063 T5 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 127 มิลลิเมตร ยาว 600 มิลลิเมตร ด้วยอุณหภูมิ 460 องศาเซลเซียส จากนั้นนำแท่งอลูมิเนียมที่อบแล้วใส่เข้าไปในกระบอกดัด (Container) ที่ถูกตั้งอุณหภูมิไว้ที่ 420 องศาเซลเซียส แล้วอัดรีดผ่านแม่พิมพ์ด้วยความเร็วอัด 5 มิลลิเมตร/วินาที ดังแสดงในภาพที่ 19



ภาพที่ 19 การอัดรีดชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ผ่านแม่พิมพ์ด้วยความเร็ว 5 มิลลิเมตร/วินาที

ผลการวิจัย

ภายหลังจากการสร้างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบใหม่ จากแบบที่กำหนดและทำการทดลองอัดรีด ซึ่งจากการทดลองได้ผลเปรียบเทียบระหว่างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ดังแสดงในตารางที่ 3

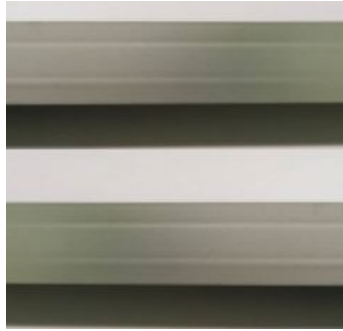
ชิ้นงานที่ได้จากการทดลองจะถูกนำไปตรวจสอบผิวทั้งหมด โดยการนำชิ้นงานจุ่มลงในโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ที่ผสมในน้ำด้วยอัตราส่วน 35-50 กรัม/ลิตร เป็นเวลา 5-7 นาที เพื่อกำจัดคราบสิ่งสกปรกที่ผิวชิ้นงานและกัดกร่อนผิวชั้นนอกเพื่อให้เห็นผิวที่แท้จริงของชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์

ทำการตรวจพินิจด้วยสายตา (Visual Test) โดยกำหนดเกณฑ์การตรวจสอบมุ่งเน้นไปที่เรื่องคุณภาพผิวของชิ้นงาน หากพบว่าชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ชิ้นงานก็จะไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพ และถือเป็นของเสียจะต้องถูกนำไปกำจัด

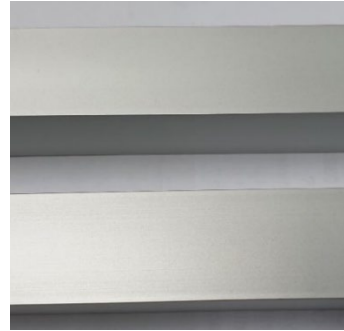
จากการตรวจสอบพบว่า ชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่ผ่านการอัดรีดด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่ผิวชิ้นงาน 12 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง แต่ชิ้นงานอลูมิเนียมโปรไฟล์ที่ผ่านการอัดรีดด้วยแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ ที่ผิวชิ้นงานเพียง 1 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 24 ตัวอย่าง

ตารางที่ 3 ผลเปรียบเทียบระหว่างแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม และแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา

แบบแม่พิมพ์	จำนวนตัวอย่าง	คุณภาพดี	เกิด ทางขาว-ทางดำ	ปริมาณของเสีย (ร้อยละ)
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม	24 เส้น	12 เส้น	12 เส้น	50
แม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา	24 เส้น	23 เส้น	1 เส้น	4



ภาพที่ 20 ชิ้นงานที่เกิดปัญหา ทางขาว-ทางดำ



ภาพที่ 21 ชิ้นงานที่มีคุณภาพดี

อภิปรายผล

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์แสดงให้เห็นแล้วว่า การออกแบบแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบเดิม จะมีการเก็บสะสมอุณหภูมิสูงที่บริเวณแกนกลางของแม่พิมพ์เป็นพื้นที่กว้าง แต่เมื่อปรับการออกแบบเป็นแม่พิมพ์อัดรีดร้อนแบบทแยงมุม 45 องศา ช่วยลดพื้นที่การเก็บสะสมอุณหภูมิสูงให้มีบริเวณที่แคบลง ซึ่งมีความสอดคล้องกับผลการทดลอง คือ พบว่าเมื่อทำการปรับการออกแบบแม่พิมพ์จากแบบเดิม เป็นแบบทแยงมุม 45 องศา ทำให้ลดปริมาณการเกิดของเสียลงจาก 50 เปอร์เซ็นต์ เหลือเพียง 4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นนั้นเป็นต้นทุนการผลิตที่สูงเกินไป เพราะนอกจากจะนำไปจำหน่ายไม่ได้ ยังต้องมีค่าใช้จ่ายในการจัดการกับของเสียเหล่านั้นอีกเป็นจำนวนมาก

ข้อเสนอแนะ

การนำผลวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้ในงานอุตสาหกรรม จำเป็นจะต้องคำนึงถึงรูปร่างลักษณะของชิ้นงานที่ทำการผลิตประกอบด้วย ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้นั้นขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของชิ้นงาน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนภายใต้ความร่วมมือของ บริษัท เมืองทองอุตสาหกรรมอลูมิเนียม จำกัด และโครงการสนับสนุนการพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรม (ITAP) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

เอกสารอ้างอิง

- A.F.M. Arif, A. K., Sheikh, S.Z., Qamar, M.K., Raza, K.M. and Al-Fuhaid (2002). Product defects in aluminum extrusion and its impact on operational cost. *The Proceedings of the 6th Saudi Engineering Conference*, 14-17 December 2002 at Dhahran, 137-154.
- Gang, F., Jie, Z., Jurek, D. (2009) FEM simulation of aluminium extrusion through two-hole multi-step pocket dies. *Journal of Materials Processing Technology*, 209, 1891–1900.

- Khansai, K. (2013). *Die live Improvement for Hot Extrusion Process by Using Geometrical Approach*. Thesis of the Degree of Master of Production Engineering. Bangkok: King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (in Thai)
- Li, G. J., Yang, J. Y., Oh, M. Foster, W. Wu, P., Tsai et al. (2009) Advancements of extrusion simulation in DEFORM-3D. *The Proceedings of the International Conference on Extrusion and Benchmark*, September 16-17, 2009, at Dortmund, Germany, SFTC paper#422.
- Prachprayoon, P., Decjarern, S. and Carmai, J. (2007). Extrusion die design using finite element method. *The Proceedings of the 21st Conference of Mechanical Engineering Network of Thailand*, 17-19 October 2006 at Chon Buri, 959-962. (in thai)
- Pholsongkerah, Y. and Sujinda, C. (2015). A study to determine optimal thickness for reinforced concrete flat slab using 3D plate finite element using CSI SAFE program. *Sripatum Review of Science and Technology*, 7, 39-46. (in Thai)
- Sriprapai, D. (2001). The study of flow stress for AA 6063 aluminum alloy at elevated temperature. *The Proceedings of the 39th Kasetsart University annual Conference*, 5-7 February 2001 at King Mongkut's University of Technology Thonburi, 359-365. (in Thai)
- Xingshengsteel. (2018). *AISI H13 / 1.2344 / SKD 61*. [Online]. Retrieved October 11, 2019, from: <http://www.round-bars.com/products/h13-sk61-hot-work-tool-steel/>.
- Zhi-hao, Z., Wen-rong, H., Dong-nan, H. and Jian-xin, X. (2012). Mesh Reconstruction Technology of Welding Process in 3D FEM Simulation of Porthole Extrusion and Its Application. *Procedia Engineering*, 36, 253–260.