

การศึกษาขบวนการตีขึ้นรูปร้อนแม่พิมพ์ปิดแบบมีครีบบนโดยอาศัย การทำแบบจำลองระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม

A Study of Hot Closed-Die Forging with Flash by Using Finite Volume Method Simulation

สุรศักดิ์ สุรนนท์ชัย

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องมือและวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

126 ถนนประชาอุทิศ แขวงบางมด เขตทุ่งครุ กทม. 10140

โทร. 0-2470-9211 โทรสาร 0-2872-9080

E-mail: surasak.sur@kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

ในกระบวนการตีขึ้นรูปร้อนแม่พิมพ์ปิดแบบมีครีบบน การทดสอบเพื่อหาขนาดและรูปร่างของวัสดุที่จะนำมาทำการผลิตขึ้นเป็นผลิตภัณฑ์นั้นถือว่ามีค่าสำคัญเป็นอย่างมาก ซึ่งโดยปกติภาคอุตสาหกรรมมักจะอาศัยการลองผิดลองถูกเพื่อหาขนาดและรูปร่างของชิ้นงานเริ่มต้น รวมทั้งปัจจัยในด้านกระบวนการผลิตต่าง ๆ เพื่อให้ได้สภาวะที่เหมาะสม ซึ่งพบว่าเป็นการสิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายในการผลิต ด้วยเหตุนี้วัตถุประสงค์หลักของโครงการวิจัยนี้เพื่อทำการศึกษาโดยการสร้างแบบจำลองเพื่อหาขนาดและรูปร่างของชิ้นงานเริ่มต้น พร้อมทั้งปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่มีความเหมาะสมมากที่สุดในการผลิตหัวค้อนตอกสายไฟ โดยการประยุกต์ใช้หลักการของระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่มผ่านโปรแกรม MSC.SuperForge ทั้งนี้ได้อาศัยผลงานวิจัยที่ผ่านมาเป็นฐานข้อมูลและแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ซึ่งเงื่อนไขและตัวแปรบางตัวที่ใช้ในการทำโครงการนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เกิดความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge โดยการใช้วัสดุแม่พิมพ์ SKD61 อุณหภูมิแม่พิมพ์ 31 องศาเซลเซียส, วัสดุชิ้นงาน S45C อุณหภูมิวัสดุชิ้นงานเริ่มต้น 1050 องศาเซลเซียส และมีสัมประสิทธิ์ความเสียดทานคงที่ที่ 0.79 จะพบว่าขนาดของชิ้นงานทรงกระบอกตันที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร และยาว 61.34 มิลลิเมตร เมื่อจำลองแล้วให้ผลสมบูรณ์และเป็นขนาดของชิ้นงานเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุด จึงเลือกขนาดชิ้นงานเริ่มต้นนี้ไปทำการทดสอบตีขึ้นรูปจริง ซึ่งผลปรากฏว่าได้จำนวนชิ้นงานสำเร็จที่มีความสมบูรณ์คือมีรูปร่างเต็มแบบ

ถึง 8 ใน 10 ชิ้นงานทดสอบ ดังนั้นโปรแกรม MSC.SuperForge จึงสามารถใช้เป็นเครื่องมือช่วยทำนายและวิเคราะห์เพื่อให้ได้ขนาดของชิ้นงานเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมและประหยัดได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ: กระบวนการตีขึ้นรูปร้อนในแม่พิมพ์ปิดแบบมีครีบบน / หัวค้อนตอกสายไฟ / ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุ่ม / MSC.SuperForge

Abstract

One of the important aspects in hot closed-die forging with flash is the accuracy for determining size and shape of billets to deform as a product designed. Generally, most of forging industries in Thailand use trial and error methods to calculate size and shape of such billets, including optimum process parameters. It is obvious that too much time and high production expenses have been spent. Then, the main objective of this research project is to simulate for finding the suitable size and shape of billets along with optimum process parameters to produce the head part of hammers under hot closed-die forging. With this project, MSC.SuperForge program developed under the finite volume technique has been used as a computational simulation tool. In addition, previously recent publication has been used as a database and guide line to follow in this project. However, some

conditions and factors that use in this project are subjected to change in order to get the best solutions. SKD61 is used as the material for die and initial die temperature is about 31°C. In case of billets, S45C is used as the material and its initial temperature is about 1050°C. Friction factor applied between the interfaces is 0.79. From the results of simulation by MSC.SuperForge, it can be found that the best initial cylindrical billet size is 22 mm in diameter and 61.34 mm in height. With this initial cylindrical billet size, it can produce sound products in terms of simulation. Hence, this initial billet size has been chosen to conduct the real tests in the laboratory. From the experimental results, 8 from 10 pieces of the deformed parts get complete shape and dimension. Consequently, it is confident that MSC.SuperForge can be accepted to be a suitable simulation tool for predicting and determining initial size and shape of billets to produce accurate forging parts.

Keywords: Hot Closed-Die Forging with Flash / the Head Part of Hammers / Finite Volume Method / MSC.SuperForge

1. บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะโดยวิธีการขึ้นรูปร้อน (Hot Forging) มีความแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมยานยนต์ โรงงานผลิต Bolts & Nuts เป็นต้น ซึ่งอุตสาหกรรมด้านต่าง ๆ ก็ได้มีการพัฒนาทางด้านเทคนิคและวิธีการในการผลิต เพื่อให้ได้วิธีการผลิตที่เหมาะสม ประหยัดต้นทุน มีความทันสมัย ง่ายต่อการผลิต และไม่ทำลายสิ่งแวดล้อม เมื่อพิจารณาแล้วพบว่าทุกอย่างมุ่งไปสู่ผลการตอบแทนที่คุ้มค่านั่นเอง แต่การที่จะทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดของการผลิตนั้น ต้องอาศัยวิธีการลองผิดลองถูก เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมนั้น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลา แรงงานและวัสดุ จึงส่งผลกระทบต่อต้นทุน

การผลิต การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยจำลองพฤติกรรม การไหล การเสียรูป ตลอดจนสามารถคาดการณ์จุดเสียหายที่อาจเกิดขึ้นหลังจากการขึ้นรูปได้ ดังนั้นภายใต้โครงการวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อการขึ้นรูปร้อนโดยการใส่แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อให้เกิดความสมบูรณ์ของชิ้นงาน ทั้งนี้ก็เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดต่อการขึ้นรูปร้อนและการเลือกใช้ขนาดของชิ้นงานเริ่มต้นที่จะนำมาขึ้นรูปแล้วประหยัดต้นทุนมากที่สุด

2. ความรู้ทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การตีขึ้นรูป (Forging)

การตีขึ้นรูปเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะโดยอาศัยแรงอัด (Compressive Force) ลงบนแม่พิมพ์เพื่อให้ชิ้นงานมีลักษณะตามต้องการ โดยแรงอัดดังกล่าวจะทำให้เกิดความเค้นขึ้นที่บนชิ้นงานจนกระทั่งความเค้นเพิ่มขึ้นมากพอที่จะทำให้ชิ้นงานเกิดการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (Plastic Deformation) เป็นรูปร่างชิ้นงานสำเร็จตามที่ต้องการ การจำแนกประเภทของงานตีขึ้นรูปสามารถแบ่งได้หลายลักษณะ ได้แก่ การจำแนกตามอุณหภูมิที่ใช้ในการทำงาน การแบ่งตามลักษณะของแม่พิมพ์ การแบ่งตามชนิดของเครื่องจักรที่ใช้ เป็นต้น [1]

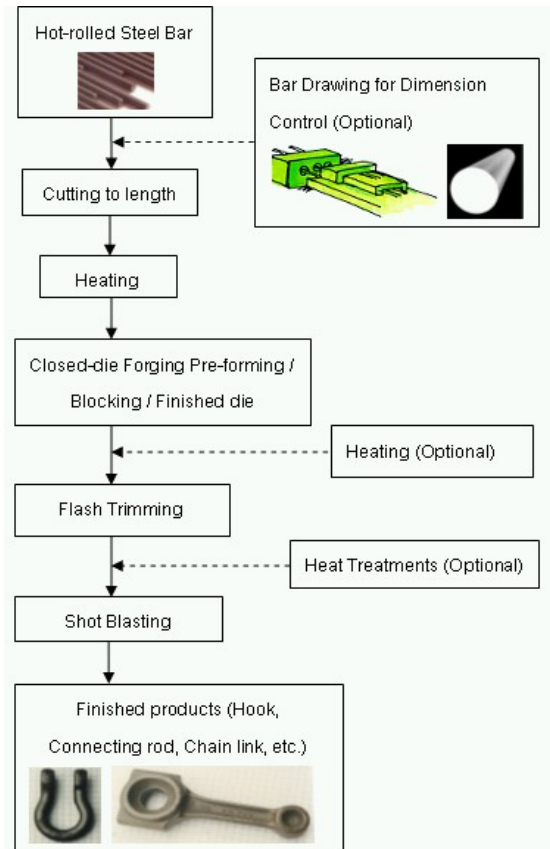
2.1.1 การตีขึ้นรูปร้อน (Hot Forging)

กระบวนการตีขึ้นรูปร้อน เป็นหนึ่งในกระบวนการแปรรูปโลหะให้ได้รูปร่างตามที่กำหนดเป็นจำนวนมาก ชิ้นงานที่ผ่านการตีขึ้นรูปร้อนจะมีความหนาแน่นและคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้น เช่น ความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงกระแทก (Toughness) เป็นต้น [1]

ตัวอย่างแสดงขั้นตอนของกระบวนการตีขึ้นรูปร้อนสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 1 การตีขึ้นรูปร้อนเป็นการตีขึ้นรูปที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิการเกิดผลึกใหม่ของโลหะและลักษณะของการตีขึ้นรูปร้อนมีดังนี้ [1]

1. ไม่เกิดความแข็งแรงเพิ่มขึ้นในขณะขึ้นรูป (Work Hardening) เพราะการตีขึ้นรูป อยู่ในอุณหภูมิที่สูงตลอด

2. แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปต่ำ เนื่องจากความแข็งแรงของชิ้นงานลดลง
3. ผิวสำเร็จและมีมิติมีความเที่ยงตรงต่ำ
4. เสียค่าใช้จ่ายในการให้ความร้อนแก่ชิ้นงาน
5. การทำระบบอัตโนมัติมีตัวยากกว่า



รูปที่ 1 แผนภาพแสดงขบวนการตีขึ้นรูปร้อน

2.1.2 การตีขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ปิด (Closed-Die Forging)

ในการตีขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์ปิด ตัวแม่พิมพ์จะถูกตัดอยู่ในลักษณะโพรงแม่พิมพ์ (Die Block) ซึ่งโลหะเมื่อได้รับแรงตีขึ้นรูปจากเครื่องจักร มักจะเป็นรูปร่างลักษณะและขนาดขั้นสุดท้าย การไหลตัวของโลหะจะถูกจำกัดโดยตัวแม่พิมพ์ การตีขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์ปิดมีคุณลักษณะต่าง ๆ ดังนี้ [1]

1. ประหยัดเวลาเมื่อเทียบกับการตีขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์เปิด

2. อัตราการผลิตสูง และมีขนาดมิติที่เที่ยงตรง
3. ลดค่าใช้จ่ายและระยะเวลาที่เกิดจากการตกแต่งผิว
4. สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่ซับซ้อนได้
5. ไม่ต้องอาศัยแรงงานที่ต้องมีความชำนาญนัก
6. สามารถควบคุมการไหลของวัสดุ และคุณสมบัติทางกลได้
7. ราคาของเครื่องมือ อุปกรณ์ สูง
8. เหมาะกับงานที่ต้องผลิตเป็นจำนวนมาก ๆ
9. มักเกิด แรงเสียดทาน

2.2 โปรแกรม MSC.SuperForge

โปรแกรมสำเร็จรูปทางการค้าที่ชื่อว่า MSC.SuperForge ซึ่งอยู่ภายใต้พื้นฐานของระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ นั้นโดยทั่วไปการวิเคราะห์ที่สำคัญจะอยู่ในรูปของความดัน อุณหภูมิ และส่วนประกอบของความเร็วในทิศทางต่างๆที่แต่ละชั้นเวลาของการคำนวณ ดังนั้นจึงสามารถแสดงผลในลักษณะต่อเนื่องตั้งแต่ชิ้นงานเริ่มต้นไปจนกระทั่งชิ้นงานเปลี่ยนรูปร่างอย่างเสร็จสิ้นสมบูรณ์ [2] จากหลักการวิเคราะห์ดังกล่าว โปรแกรมสำเร็จรูป MSC.SuperForge จะช่วยให้วิศวกรสามารถตรวจสอบทิศทางการไหลของโลหะภายในแม่พิมพ์ จากกรรมวิธีการขึ้นรูปโลหะ เพื่อให้แน่ใจว่าไม่เกิดตำหนิ หรือรอยแห้ว ที่เกิดจากการไหลเข้าไปของเนื้อโลหะไม่เต็มแม่พิมพ์ รวมทั้งสามารถตรวจสอบ และป้องกันการไหลเข้ามาซ้อนทับกันของโลหะภายในชิ้นงาน ซึ่งจะทำให้เกิดเป็นจุดอ่อน และเป็นการนำไปสู่การบกพร่องของชิ้นงาน นอกจากนี้วิศวกรยังสามารถวิเคราะห์ความแข็งแรงของแม่พิมพ์ภายหลัง และขณะทำการตีขึ้นรูป ทำให้สามารถรู้ถึงจุดอ่อนที่อันอาจเกิดขึ้น ณ ตำแหน่งใดๆของแม่พิมพ์ และสามารถแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นก่อนที่จะนำรูปแบบของการขึ้นรูปโลหะนั้นๆไปทำการขึ้นรูปจริง [2]

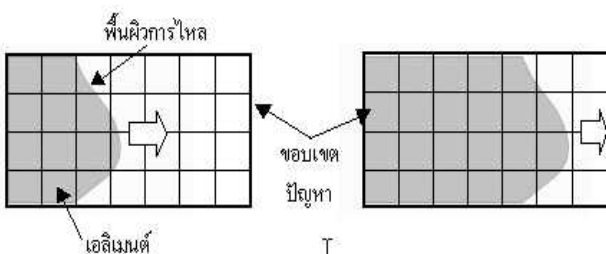
2.2.1 ระเบียบวิธีทางไฟไนต์เอลิเมนต์

การพิจารณาถึงเอลิเมนต์แบบ 3 มิติ ที่มีการควบคุมปริมาตร (the 3 Dimensional-Element with Controlled Volume) ของโลหะที่มีการไหลตัวจากเอลิเมนต์หนึ่งไปสู่

เอลิเมนต์หนึ่ง โดยที่ขนาดของเอลิเมนต์จะไม่มี การเปลี่ยนแปลง ซึ่งทำให้ไม่ต้องมีการจัดเรียงตัวใหม่ของตาข่าย (Adaptive Mesh) ดังนั้นการพิจารณาการไหลตัวของเอลิเมนต์ จะทำการพิจารณาที่ตำแหน่งพิกัด (Coordinate) ของเอลิเมนต์ที่มีการกำหนดอย่างตายตัวของตาข่าย (Fixed Mesh) ว่ามีการไหลตัวไปในทิศทางใดเมื่อเวลาผ่านไป ในขณะที่เอลิเมนต์เกิดการไหลตัวนั้น จะมีการนำพาเอามวล (Mass) โมเมนตัม (Momentum) และพลังงาน (Energy) ของเอลิเมนต์หนึ่งไปสู่เอลิเมนต์หนึ่งด้วย [3] ดังรูปที่ 2

จะเห็นได้ว่าระเบียบวิธีทางไฟไนต์วอลุ่ม นั้นเป็นการพิจารณาถึงตำแหน่งพิกัดของการไหลตัวของเอลิเมนต์ของไหล ดังนั้นจึงจะต้องมีการนำเอาตัวแปรที่เกี่ยวกับการไหลเชิงพลาสติก เช่น ความเร็ว (Velocity) ความเร่ง (Acceleration) เป็นต้น เข้ามาทำการพิจารณาในการคำนวณด้วย [3] โดยทำการเปลี่ยนตัวแปรดังกล่าวให้อยู่ในรูปของตัวแปรที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งซึ่งก็คือ การขจัด (Displacement)

ดังนั้นพฤติกรรมในช่วงพลาสติก ดังกล่าวจะอยู่ภายใต้หลักการของการไหล (Flow Formulation) ทำให้สอดคล้อง และสามารถนำระเบียบวิธีทางไฟไนต์วอลุ่ม มาทำการวิเคราะห์ปัญหาได้ ตัวอย่างตัวแปรที่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ ก็คือ แรงในการขึ้นรูป (Forming Load) ความเครียดในช่วงพลาสติก (Plastic Strain) ความดันที่ผิวสัมผัส และการกระจายตัวของความเร็ว (Velocity Distribution) เป็นต้น [3]



รูปที่ 2 แสดงลักษณะการไหลตัวของเอลิเมนต์ในระเบียบวิธีทางไฟไนต์วอลุ่ม

2.3 การคำนวณหาขนาดขึ้นงานเริ่มต้น

การเตรียมขนาดวัสดุเริ่มต้นถือว่ามีความสำคัญมากต่อกระบวนการขึ้นรูปร้อน เพราะหากขึ้นงานที่เตรียมมีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้ขึ้นงานจะไหลตัวได้ไม่เต็มแบบเมื่อทำการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจึงมีลักษณะไม่สมบูรณ์ หากเตรียมขนาดขึ้นงานเริ่มต้นให้มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมามีขนาดใหญ่เกินจากที่ออกแบบไว้ใช้แรงในการขึ้นรูปสูงและสิ้นเปลืองวัสดุ โดยสมการเริ่มต้นในการคำนวณการหาขนาดขึ้นงานเริ่มต้น [1] คือ

$$m_A = m_E + m_G + m_Z \quad (1)$$

m_A = มวลของวัสดุที่ต้องเตรียม (มวลขึ้นงานเริ่มต้น)

m_E = มวลของขึ้นงานสำเร็จ

m_G = มวลครีป

m_Z = มวลของสะเก็ดเผา

2.3.1 มวลของขึ้นงานเริ่มต้น

$$m_A = W \times m_E \quad (2)$$

W = แฟคเตอร์เผื่อขนาดของขึ้นงานโดยดูได้จากตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงค่า Factor W ที่มีความสัมพันธ์ต่อมวลขึ้นงานสำเร็จ m_E และหมวดหมู่รูปร่าง [1]

m_E (กิโลกรัม)	1.0	2.5	4.0	6.3	20	100	
ค่า W ตามหมวดหมู่รูปร่าง	1	1.1	1.08	1.07	1.06	1.05	1.03
	2	1.25	1.19	1.17	1.15	1.08	1.06
3	1.5	1.46	1.41	1.35	1.20	-	

2.3.2 มวลของชิ้นงานสำเร็จ

$$m_E = V \times \rho \quad (3)$$

ρ = ความหนาแน่นของเหล็ก

V = ปริมาตรของชิ้นงาน

2.3.3 ปริมาตรของชิ้นงานเริ่มต้น

$$V = \frac{m_A}{\rho} \quad (4)$$

ρ = ความหนาแน่นของเหล็ก

m_A = มวลของวัสดุที่ต้องเตรียม (มวลชิ้นงานเริ่มต้น)

2.3.4 ขนาดของชิ้นงานเริ่มต้น

$$h_0 = \frac{V}{A_0} \quad (5)$$

เมื่อ A_0 เป็นพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานและเมื่อชิ้นงานเริ่มต้นเป็นรูปร่างทรงกระบอก จะได้ว่า

$$A_0 = \frac{\pi l^2}{4} \quad (6)$$

เมื่อได้ h_0 ออกมาควรเผื่อขนาดด้วยเล็กน้อยเนื่องจากต้องทำการตัดด้วยเลื่อย

2.3.5 อัตราเร็วขึ้นรูป (Strain Rate)

$$\dot{\epsilon} = \frac{v}{h_0} \quad (7)$$

v = ความเร็วในการขึ้นรูป (มิลลิเมตรต่อวินาที)

$\dot{\epsilon}$ = อัตราเร็วขึ้นรูป

2.3.6 สมการ Power Law

$$\sigma_f = C \dot{\epsilon}^m \quad (8)$$

σ_f = ความเค้นที่เกิดขึ้นจริง (True Stress)

C = ค่าสัมประสิทธิ์ความแข็งแรงของวัสดุ (Strength Coefficient)

m = ค่า Strain-Rate-Sensitivity Exponent

2.3.7 ค่าความเค้นในช่วงสุดท้ายของการขึ้นรูป

$$k_{we} = y \times k_f \quad (9)$$

y = ค่าองค์ประกอบรูปร่าง

$k_f = \sigma_f$ เป็นความเค้นที่เกิดขึ้นจริง (True Stress)

k_{we} = ค่าความเค้นในช่วงสุดท้ายของการขึ้นรูป (เมกกะปาสคาล)

2.3.8 แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป (Forming Force)

$$F = A_d \times k_{we} \quad (10)$$

A_d = พื้นที่รับแรงของชิ้นงาน (Total project area of the workpiece)

F = แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป (ตัน)

k_{we} = ค่าความเค้นในช่วงสุดท้ายของการขึ้นรูป (เมกกะปาสคาล)

3. การคำนวณหาค่าขนาดมิติของวัสดุทดสอบ

3.1 การเตรียมวัสดุเริ่มต้นในการทดสอบ

ในโครงการนี้เราจะเริ่มจากการคำนวณหาขนาดชิ้นงานเริ่มต้น เนื่องจากมีความสำคัญมากต่อกระบวนการตีขึ้นรูปร้อน ทั้งนี้เพราะธรรมชาติของวัสดุนั้น เมื่อถูกแรงกดอัดที่มากพอจะทำให้เกิดการเปลี่ยนรูป คุณสมบัติการไหลตัวจะ

ไม่เท่ากันในทุกทิศทาง [4] ดังนั้นการเตรียมชิ้นงานเริ่มต้นให้มีขนาดใหญ่กว่าผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต จึงมีความสำคัญมาก เพราะหากชิ้นงานที่เตรียมมีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้ชิ้นงานไหลตัวได้ไม่เต็มแบบเมื่อทำการขึ้นรูป ผลิตภัณฑ์ที่ออกมาจึงมีลักษณะไม่สมบูรณ์ หากเตรียมขนาดชิ้นงานเริ่มต้นให้มีขนาดใหญ่เกินไปจะทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมามีขนาดใหญ่เกินไปจากที่ออกแบบไว้ ใช้แรงในการขึ้นรูปสูง และมีครีบของชิ้นงานหนา สิ้นเปลืองวัสดุ ทำให้ค่าใช้จ่ายในการผลิตสูงเกินความจำเป็น [1][4] ด้วยเหตุนี้จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนวณหาขนาดวัสดุเริ่มต้นในการผลิต ให้มีขนาดที่เหมาะสมกับการผลิตให้มากที่สุด

3.2 วิธีการคำนวณเพื่อเตรียมขนาดชิ้นงานเริ่มต้น

การคำนวณเพื่อหามวลของชิ้นงานสำเร็จ ในกรณีนี้ จะเลือกใช้ค่าตัวคูณเผื่อขนาด (W) ทั้ง 4 ค่า คือ 1.4, 1.3, 1.2 และ 1.1 ตามลำดับซึ่งสามารถแสดงการคำนวณได้ดังนี้

3.2.1 ทำการหามวลของชิ้นงานสำเร็จ

จากการคำนวณแบบจำลองชิ้นงานสำเร็จด้วยโปรแกรม Unigraphics NX2.0 ปริมาตรชิ้นงานสำเร็จ

$$\text{ปริมาตร} = 19429.178 \text{ ลูกบาศก์มิลลิเมตร}$$

ความหนาแน่นของเหล็ก S45C

$$\begin{aligned} \rho_{S45C} &= 7833.4 \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร} \\ &= 7833.4 \times 10^{-9} \text{ กิโลกรัม/ลูกบาศก์} \end{aligned}$$

มิลลิเมตร

$$= 7.8334 \times 10^{-3} \text{ กรัม/ลูกบาศก์มิลลิเมตร}$$

$$\text{จากสมการที่ (3)} \quad m_E = V \times \rho$$

$$\begin{aligned} m_E &= (19429.178 \text{ ลูกบาศก์มิลลิเมตร}) \times \\ &(7.8334 \times 10^{-3} \text{ กรัม/ลูกบาศก์มิลลิเมตร}) \\ &= 152.1965 \text{ กรัม} \\ &= 0.1522 \text{ กิโลกรัม} \end{aligned}$$

ดังนั้นชิ้นงานสำเร็จ มีมวลเท่ากับ 0.1522 กิโลกรัม

3.2.2 ทำการหามวลของชิ้นงานเริ่มต้น

$$\text{จากสมการที่ (2)} \quad m_A = W \times m_E$$

ได้คำนวณไว้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตารางแสดงขนาดมวลชิ้นงานเริ่มต้น

Factor w	m_A (กิโลกรัม)
1	0.1522
1.1	0.16742
1.2	0.18264
1.3	0.19786
1.4	0.21308

3.2.3 การคำนวณหาขนาดมิติของชิ้นทดสอบเริ่มต้น

จากการคำนวณเพื่อหามวลของชิ้นทดสอบเริ่มต้นที่ใช้ค่าตัวคูณเผื่อขนาด (W) ใน 4 ขนาดดังที่ออกแบบไว้ จึงทำการคำนวณเพื่อออกแบบขนาดมิติของชิ้นงานเริ่มต้นโดยใช้เกณฑ์การคำนวณ คือ ชิ้นงานเริ่มต้นที่ได้ควรมีความยาวไม่เกิน 81.43 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นความยาวสูงสุดของโพรงแม่พิมพ์ จากนั้นจึงทำการคำนวณเพื่อหาขนาดมิติของชิ้นงาน โดยการกำหนดเส้นผ่าศูนย์กลางของชิ้นงานเริ่มต้นก่อน จากนั้นจึงคำนวณความยาวขนาดต่าง ๆ จากสมการที่ (5)

$$h_0 = \frac{V}{A_0}$$

$$\text{เมื่อ } V = \frac{m_A}{\rho} \text{ และ } A_0 = \frac{\pi d^2}{4}$$

จากการใช้ $W = 1.4$

ดังนั้น มวลชิ้นทดสอบเริ่มต้น เท่ากับ 0.21308 กิโลกรัม

กำหนดให้ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 21 มิลลิเมตร จะได้

$$V = \frac{0.21308 \text{ kg}}{7833.4 \times 10^{-9} \text{ kg/mm}^3}$$

ดังนั้นจากสมการที่ (5)

$$\begin{aligned} h_0 &= \frac{27201.47063 \text{ mm}^3}{\pi(21 \text{ mm})^2} \\ &= 78.54 \text{ มิลลิเมตร} \end{aligned}$$

ดังนั้น ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร จะได้ขนาดความยาวขึ้นทดสอบเท่ากับ 78.54 มิลลิเมตร

ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบโดยการใส่ค่า W = 1.4

จากการใส่ค่าตัวคูณเพื่อขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 1.4 สามารถทำการหาขนาดมิติชิ้นงานเริ่มต้นที่จะนำไปทำการทดสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงขนาดมิติของขึ้นทดสอบเริ่มต้นจากการเผื่อขนาดด้วย W = 1.4

หน้าตัดกลม	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)
1	21	78.54
2	22	71.56
3	23	65.47
4	24	60.13
5	25	55.42
6	26	51.24

ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบโดยการใส่ค่า W = 1.3

จากการใส่ค่าตัวคูณเพื่อขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 1.3 สามารถทำการหาขนาดมิติชิ้นงานเริ่มต้นที่จะนำไปทำการทดสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงขนาดมิติของขึ้นทดสอบเริ่มต้นจากการเผื่อขนาดด้วย W = 1.3

หน้าตัดกลม	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)
1	20	80.40
2	21	72.93
3	22	66.45
4	23	60.80

5	24	55.84
6	25	51.46

ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบโดยการใส่ค่า W = 1.2

จากการใส่ค่าตัวคูณเพื่อขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 1.2 สามารถทำการหาขนาดมิติชิ้นงานเริ่มต้นที่จะนำไปทำการทดสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 แสดงขนาดมิติของขึ้นทดสอบเริ่มต้นจากการเผื่อขนาดด้วย W = 1.2

หน้าตัดกลม	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)
1	20	74.22
2	21	67.32
3	22	61.34
4	23	56.12
5	24	51.54
6	25	47.50

ขนาดของชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบโดยการใส่ค่า W = 1.1

จากการใส่ค่าตัวคูณเพื่อขนาดชิ้นงานเริ่มต้นเท่ากับ 1.1 สามารถทำการหาขนาดมิติชิ้นงานเริ่มต้นที่จะนำไปทำการทดสอบได้ ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงขนาดมิติของขึ้นทดสอบเริ่มต้นจากการเผื่อขนาดด้วย W = 1.1

หน้าตัดกลม	เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)
1	19	75.39
2	20	68.04
3	21	61.71
4	22	56.23

5	23	51.45
6	24	47.25

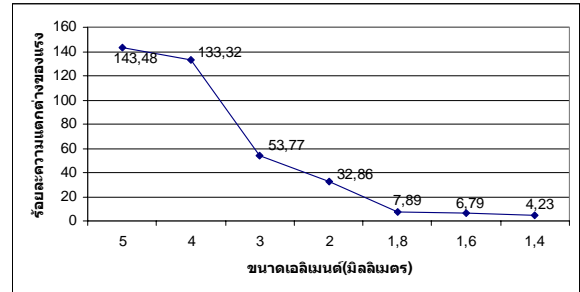
4. ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการทดสอบหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมซึ่งจะนำมาใช้ในการจำลองผลในโปรแกรม MSC.SuperForge

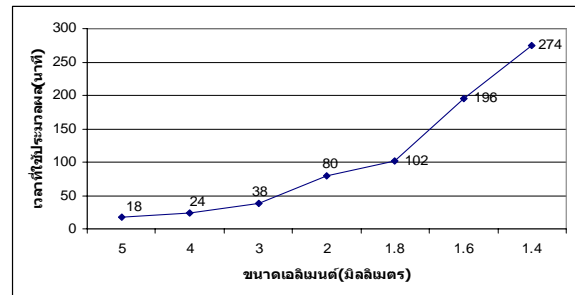
ในการวิเคราะห์ผลความแม่นยำที่ได้จากการทำนายผลด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge ขนาดของเอลิเมนต์มีความสำคัญต่อความแม่นยำของผลการทำนาย หากกำหนดขนาดเอลิเมนต์ที่ใหญ่เกินไปย่อมส่งผลให้การทำนายคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง หากกำหนดขนาดเอลิเมนต์เล็กเกินไปจะทำให้มีเอลิเมนต์จำนวนมาก ซึ่งส่งผลกระทบต่อระยะเวลาในการประมวลผลของโปรแกรมที่ต้องใช้เวลานาน จึงจำเป็นต้องหาขนาดเอลิเมนต์ที่มีความเหมาะสม ใช้เวลาประมวลผลไม่นานนัก และได้ผลที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงน้อย [4]

ในการทดสอบการตีขึ้นรูปจริงจะใช้ชิ้นงานเริ่มต้นขนาด เส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตร ยาว 62 มิลลิเมตร โดยจะนำแรงที่เกิดขึ้นจากการทดลองตีขึ้นรูปจริง ไปหาขนาดเอลิเมนต์ที่เหมาะสมซึ่งเมื่อทำการตีขึ้นรูปจริงแล้ว ได้ค่าเฉลี่ยของแรงที่เกิดขึ้นจริงเป็น 172.21 ตัน ดังแสดงในตารางที่ 7 และเมื่อประมวลผลด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge แล้ว ได้เอลิเมนต์ขนาด 1.8 มิลลิเมตร เป็นขนาดที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากเมื่อประมวลผลที่เอลิเมนต์ขนาด 1.8 มิลลิเมตร แรงขึ้นรูปที่ได้จากโปรแกรมเท่ากับ 185.8 ตัน ซึ่งมีร้อยละความแตกต่างของแรง 7.89 และใช้เวลาประมวลผล 102 นาที แต่เมื่อกำหนดขนาดเอลิเมนต์ที่เล็กกว่านี้คือที่ 1.6 มิลลิเมตร แรงขึ้นรูปที่ได้จากโปรแกรมเท่ากับ 183.9 ตัน ร้อยละความแตกต่างของแรงจะเป็น 6.79 ใช้เวลาประมวลผล 196 นาที ซึ่งจะเห็นว่าร้อยละของความแตกต่างของแรงลดลงเพียง 1.10% แต่ใช้เวลาประมวลผลเพิ่มขึ้นเกือบ 1 เท่าตัวดังแสดงในตารางที่ 7 ดังนั้นเอลิเมนต์ขนาด 1.8 มิลลิเมตร จึงเป็นขนาดที่เหมาะสมสำหรับงานวิจัยนี้ เนื่องจากมีค่าความคลาดเคลื่อนที่อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้และใช้เวลาในการ

ประมวลผลไม่มากเกินไป ซึ่งได้แสดงความสัมพันธ์ในรูปของกราฟดังรูปที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของเอลิเมนต์ และร้อยละของความแตกต่างของแรง



รูปที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบ ขนาดเอลิเมนต์และระยะเวลาการประมวลผล

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบขนาดเอลิเมนต์จำนวนเอลิเมนต์ ร้อยละของความแตกต่างของแรง และเวลาการประมวลผล

ขนาดเอลิเมนต์ (มิลลิเมตร)	แรงที่ใช้ขึ้นรูปจริงเฉลี่ย (ตัน)	แรงที่ได้จากโปรแกรม (ตัน)	ร้อยละความแตกต่างของแรง	เวลาที่ใช้ประมวลผล (นาที)
5	172.2	419.3	143.48	18
4		401.8	133.32	24
3		264.8	53.77	38
2		228.8	32.86	80
1.8		185.8	7.89	102
1.6		183.9	6.79	196
1.4		179.5	4.23	274

4.2 ผลการจำลองด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge

ผลการวิเคราะห์โปรแกรม MSC.SuperForge ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ขึ้นรูปแบบจำลองทั้งหมด 24 ตัวอย่าง โดยเลือกขนาดของชิ้นงานเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมที่สุดทดสอบขึ้นรูปจริง เพื่อวิเคราะห์ความแม่นยำของการทำนายผลจากแบบจำลองทางไฟไนต์เอลิเมนต์ของโปรแกรม MSC.SuperForge ซึ่งแนวทางการเลือกขนาดชิ้นงานที่มีความเหมาะสมในการนำไปทดสอบตีขึ้นรูปชิ้นงานจริงจากแบบจำลอง 24 กลุ่มตัวอย่างมีดังนี้

1. ต้องมีความสมบูรณ์ทางด้านรูปทรงของผลิตภัณฑ์
2. ต้องเป็นชิ้นงานเริ่มต้นที่ใช้ปริมาณวัสดุน้อยที่สุด

เพื่อผลในแง่ของความประหยัด

ผลการทดลองขึ้นรูปด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge แสดงได้ดังตารางที่ 8

จากตารางที่ 8 จะเห็นได้ว่า ขนาดชิ้นงานจาก 24 ตัวอย่าง มีแนวโน้มที่สามารถขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีความสมบูรณ์ในด้านรูปทรงทั้งสิ้น 12 ตัวอย่าง ซึ่งได้แก่

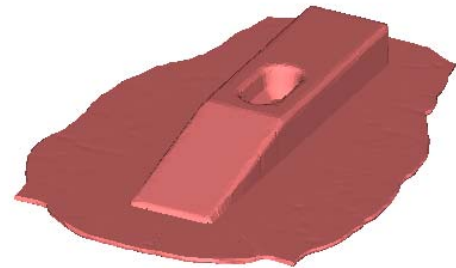
1. เส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร ยาว 78.54 มิลลิเมตร
2. เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 71.56 มิลลิเมตร
3. เส้นผ่านศูนย์กลาง 23 มิลลิเมตร ยาว 65.47 มิลลิเมตร
4. เส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตร ยาว 60.13 มิลลิเมตร
5. เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร ยาว 55.42 มิลลิเมตร
6. เส้นผ่านศูนย์กลาง 26 มิลลิเมตร ยาว 51.24 มิลลิเมตร
7. เส้นผ่านศูนย์กลาง 20 มิลลิเมตร ยาว 80.40 มิลลิเมตร
8. เส้นผ่านศูนย์กลาง 21 มิลลิเมตร ยาว 72.93 มิลลิเมตร
9. เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 66.45 มิลลิเมตร

10. เส้นผ่านศูนย์กลาง 23 มิลลิเมตร ยาว 60.80 มิลลิเมตร

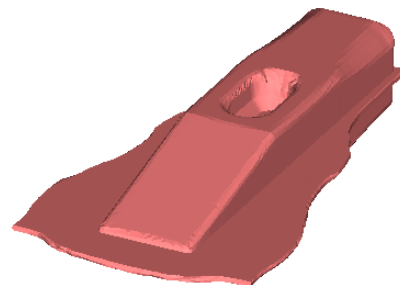
11. เส้นผ่านศูนย์กลาง 24 มิลลิเมตร ยาว 55.84 มิลลิเมตร

12. เส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 61.34 มิลลิเมตร

โดยลักษณะของชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์หลังการจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge แสดงให้เห็นดังรูปที่ 5 ในส่วนของแบบจำลองที่ทดสอบขึ้นรูปแล้วมีแนวโน้มเกิดข้อบกพร่องเมื่อทำการผลิตจริงมีทั้งสิ้น 12 กลุ่มตัวอย่าง ซึ่งลักษณะของแบบชิ้นงานที่มีความบกพร่องหลังการจำลองการขึ้นรูปมีลักษณะที่ไม่สมบูรณ์ในรูปร่าง ไหลตัวไม่เต็มแบบ เนื่องจากขึ้นทดสอบเริ่มต้นมีขนาดและรูปร่างที่ไม่เหมาะสมในการผลิตจริง ดังแสดงในรูปที่ 6

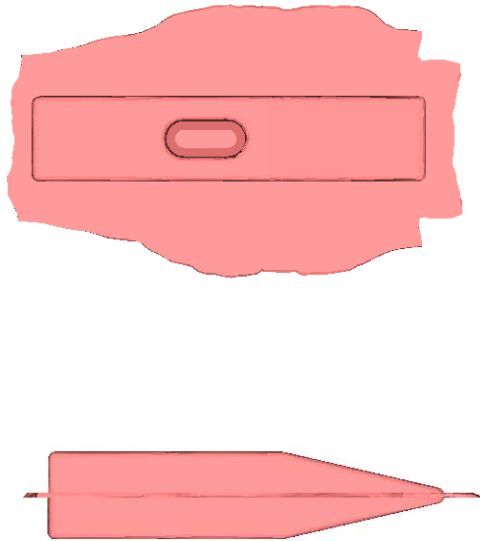


รูปที่ 5 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่มีความสมบูรณ์หลังการจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge



รูปที่ 6 แสดงตัวอย่างชิ้นงานที่มีความบกพร่องหลังการจำลองการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge

แต่เพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานที่ประหยัดที่สุด ดังนั้นจึงนำตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 61.34 มิลลิเมตรไปทำการทดสอบการขึ้นรูปจริง ซึ่งขนาดดังกล่าวเป็นขนาดชิ้นงานที่คิดจากตัวคูณเผื่อขนาดชิ้นงานเริ่มต้น (W) เท่ากับ 1.2 จึงมีปริมาตรน้อยที่สุด โดยรายละเอียดของขนาดชิ้นงานที่เลือกใช้และลักษณะของชิ้นงานที่ได้จากโปรแกรมได้แสดงไว้ในตารางที่ 9 และรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงภาพจำลองของชิ้นงานเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 61.34 มิลลิเมตรที่ทำการขึ้นรูปสำเร็จจากโปรแกรมMSC.SuperForge

ตารางที่ 8 สรุปผลการทดลองขึ้นรูปด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge

ค่าเผื่อขนาด (Factor W)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	แรงขึ้นรูป (ตัน)	เวลาที่ใช้ประมวลผล (นาที)	ความสำเร็จในการขึ้นรูป
W =1.4	21	78.54	919.3	140	มีความสมบูรณ์
	22	71.56	977.0	134	มีความสมบูรณ์
	23	65.47	937.0	132	มีความสมบูรณ์
	24	60.13	614.6	136	มีความสมบูรณ์
	25	55.42	749.8	174	มีความสมบูรณ์
	26	51.24	735.6	180	มีความสมบูรณ์
W=1.3	20	80.40	533.9	128	มีความสมบูรณ์
	21	72.93	645.1	114	มีความสมบูรณ์
	22	66.45	599.5	110	มีความสมบูรณ์
	23	60.80	567.2	120	มีความสมบูรณ์
	24	55.84	508.1	124	มีความสมบูรณ์
	25	51.46	471.4	162	มีข้อบกพร่อง
W =1.2	20	74.22	360.2	92	มีข้อบกพร่อง
	21	67.32	336.5	94	มีข้อบกพร่อง
	22	61.34	320.4	96	มีความสมบูรณ์
	23	56.12	344.9	110	มีข้อบกพร่อง
	24	51.54	371.1	110	มีข้อบกพร่อง
	25	47.50	404.8	154	มีข้อบกพร่อง
W =1.1	19	75.39	204.2	90	มีข้อบกพร่อง
	20	68.04	198.7	88	มีข้อบกพร่อง
	21	61.71	239.4	90	มีข้อบกพร่อง
	22	56.23	232.4	90	มีข้อบกพร่อง
	23	51.45	273.9	100	มีข้อบกพร่อง
	24	47.25	228.5	100	มีข้อบกพร่อง

ตารางที่ 9 แสดงรายละเอียดของขนาดชิ้นงานที่เลือกใช้ที่ได้จากโปรแกรมหลังการจำลอง

เส้นผ่านศูนย์กลาง (มิลลิเมตร)	ความยาว (มิลลิเมตร)	แรงขึ้นรูป (ตัน)	ด้าน A (มิลลิเมตร)	ด้าน B (มิลลิเมตร)	ความหนา ครีป (มิลลิเมตร)	ความสำเร็จในการขึ้นรูป
22	61.34	320.4	17.60	18.60	1	มีความสมบูรณ์

4.3 ผลการทดสอบด้วยกระบวนการตีขึ้นรูปจริง

ผลการทดสอบการตีขึ้นรูปจริง ด้วยชิ้นงานเริ่มต้นที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 61.34 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสมและที่ความประหัดที่สุดจำนวน 10 ชิ้น ได้แสดงผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 10

ตารางที่ 10 ผลการขึ้นรูปจริงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ยาว 61.34 มิลลิเมตร

ชิ้นงานที่	แรงในการขึ้นรูป(ตัน)	A (มิลลิเมตร)	B (มิลลิเมตร)	ครีป (มิลลิเมตร)	ผลการขึ้นรูป
1	168	17.58	18.70	1.88	มีข้อบกพร่อง
2	163	17.52	18.76	1.78	มีความสมบูรณ์
3	150	17.50	18.48	1.76	มีความสมบูรณ์
4	163	17.44	18.78	1.90	มีความสมบูรณ์
5	164	17.54	18.74	1.86	มีความสมบูรณ์
6	160	17.20	18.66	1.78	มีความสมบูรณ์
7	181	17.28	18.84	1.88	มีความสมบูรณ์
8	152	17.52	18.54	1.68	มีข้อบกพร่อง
9	163	17.56	18.80	1.84	มีความสมบูรณ์
10	164	17.38	18.74	1.78	มีความสมบูรณ์
เฉลี่ย	162.8	17.45	18.70	1.81	-

จากผลการทดลองภายหลังจากการตีขึ้นรูปจริงจำนวน 10 ชิ้น จะพบว่า มีชิ้นงานที่สามารถตีขึ้นรูปได้อย่างสมบูรณ์ คือ มีรูปร่างของชิ้นงานภายหลังจากการขึ้นรูปเต็มแบบ จำนวนทั้งหมด 8 ชิ้น โดยได้แสดงลักษณะของชิ้นงานภายหลังจากขึ้นรูปไว้ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงภาพชิ้นงานภายหลังจากการตีขึ้นรูปจริง

4.4 การวิเคราะห์ชิ้นงานภายหลังการขึ้นรูปจริง เปรียบเทียบกับการจำลองด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 4.2 ตารางที่ 9 จะพบว่า แรงและขนาดของครีบที่ได้จากการจำลองผลด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge นั้นเท่ากับ 320.4 ตัน และ 1 มิลลิเมตร ตามลำดับ ในขณะที่เมื่อไปดูที่การทดสอบการขึ้นรูปจริงในหัวข้อที่ 4.3 ตารางที่ 10 กลับพบว่า เมื่อทดสอบการขึ้นรูปจริงนั้นใช้แรงในการขึ้นรูปเฉลี่ยเพียง 162.8 ตัน และมีขนาดของครีบถึง 1.81 มิลลิเมตร จะเห็นว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปจริงนั้นน้อยกว่าแรงที่ได้จากโปรแกรม MSC.SuperForge ประมาณ 1 เท่า แต่มีขนาดของครีบที่ได้จากการขึ้นรูปจริงนั้นมากกว่าขนาดของครีบที่ได้จากโปรแกรม MSC.SuperForge เกือบ 1 เท่า ซึ่งเมื่อทำการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปตามทฤษฎี [5] จะได้แรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเท่ากับ 370.06 ตัน ซึ่งเห็นได้ว่า แรงที่ได้จากการคำนวณนั้นมีแนวโน้มสนับสนุนไปในทางของโปรแกรม MSC.SuperForge แต่เพื่อสนับสนุนความน่าเชื่อถือของโปรแกรม MSC.SuperForge จึงได้ทำการตรวจสอบกลับ ด้วยการนำขนาดของครีบที่ได้จากการขึ้นรูปจริงไปกำหนดในโปรแกรม MSC.SuperForge และทำการจำลองผล ซึ่งผลที่ได้ออกมาก็คือจากที่ใช้แรงในการขึ้นรูป 320.4 ตัน นั้นเหลือแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปเพียง 173.1 ตัน จะเห็นว่าแรงที่ได้จากโปรแกรม MSC.SuperForge นี้ สอดคล้องกับการแรงที่ได้จากการขึ้นรูปจริง จึงทำให้สามารถเชื่อได้ว่าโปรแกรม MSC.SuperForge มีความน่าเชื่อถือในการนำไปช่วยในการวิเคราะห์หาขนาดชิ้นงานเริ่มต้นที่เหมาะสม และมีความประหยัดต่อการขึ้นรูปจริงได้

5. สรุปผลการดำเนินการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตหัวค้อนตอกสายไฟ โดยอาศัยกระบวนการตีขึ้นรูปร้อนแม่พิมพ์ โดยมีวัสดุชิ้นงานเป็นเหล็ก S45C และแม่พิมพ์ใช้วัสดุ SKD61 หรือ H13 เจือไนท์หลักของการทดสอบคือ คุณงูมิที่ใช้ในการทดลองนี้มีค่าคงที่ประมาณ 1050 องศาเซลเซียส และทำการทดลองโดยไม่ใช้สารหล่อลื่น จากนั้นทำการสร้างแบบจำลองทางไฟไนต์

วอลุ่ม เพื่อทำนายผลการขึ้นรูปด้วยโปรแกรม MSC.SuperForge จากผลการจำลองการตีขึ้นรูปโดยการวิเคราะห์จากกลุ่มตัวอย่างทั้ง 24 ตัวอย่าง พบว่าขนาดชิ้นทดสอบเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมในการผลิตเป็นวัสดุหัวค้อนตอกสายไฟ คือขนาดชิ้นทดสอบที่เตรียมจากค่าตัวคูณเผื่อขนาด (W) เท่ากับ 1.2 โดยขนาดชิ้นทดสอบเริ่มต้นที่มีความเหมาะสม คือ เส้นผ่าศูนย์กลาง 22 มิลลิเมตร ความยาว 61.34 มิลลิเมตร ซึ่งเมื่อนำขนาดชิ้นทดสอบเริ่มต้นดังกล่าวไปทดสอบการตีขึ้นรูปจริงตามค่าตัวแปรต่างๆตามที่กำหนดลงในโปรแกรม พบว่าจากชิ้นทดสอบทั้งหมด 10 ชิ้น สามารถตีขึ้นรูปได้อย่างสมบูรณ์คือมีรูปร่างเต็มแบบได้ถึง 8 ชิ้น จึงทำให้เชื่อมั่นได้ว่า โปรแกรม MSC.SuperForge มีความแม่นยำในการช่วยทำนายผลการขึ้นรูปเพื่อให้ได้ขนาดชิ้นงานเริ่มต้นที่มีความเหมาะสมและประหยัดที่สุด อย่างไรก็ตามลักษณะผิวของชิ้นงานหัวค้อนตอกสายไฟภายหลังการตีขึ้นรูปจริง มีลักษณะที่มีการหลุดร่อนของผิวชิ้นงานและไม่ค่อยเรียบในบางส่วนนั้น อาจเกิดได้จากการถ่ายเทความร้อนระหว่างแม่พิมพ์กับชิ้นงาน โดยภายหลังการขึ้นรูปเกิดการกระจายของอุณหภูมิในแต่ละส่วนของผิวงานไม่เท่ากัน ดังนั้นในบริเวณที่อุณหภูมิภายหลังการขึ้นรูปต่ำกว่า จะเกิดการแข็งตัวก่อน จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการหลุดร่อนตรงบริเวณที่แข็งตัวก่อน และส่งผลให้เกิดความไม่เรียบของผิวชิ้นงาน [6]

เอกสารอ้างอิง

- [1] Lange, K., 1985, Handbook of Metal Forming, McGraw-Hill, New York, pp. (10.1)-(11.1).
- [2] Slagter, W.J., Florie, C.J.L. and Venis, A.C.J., 1999, Forging Simulation Tool Based on Breakthrough Technology, Journal of MSC.Software Corporation, Netherlands.
- [3] Arjaan, J. Buijk., 2000, Application of the Finite Volume Method to Upset Forging of Cylinder, Journal of Forging Fair 2000, Ohio, USA, pp. 22-31.

[4] Kobayashi, S., Oh, S.I. and Altan, T., 1989, Metal Forming and the Finite-Element Method, 1st Ed., Oxford University Press, Oxford, UK.

[5] Wagoner, R.H. and Chenot, J.-L., 2001, Metal Forming Analysis, Cambridge University Press, and Cambridge, UK.

[6] Florie, C.J.L. and Venis, A.C.J., 2000, Advances in 3-D Forging Process Modelling, Journal of MSC.Software Corporation, Netherlands.