

ผลกระทบของความเร็วในการดึงต่อประสิทธิภาพทางไทรโบโลยี ของสารหล่อลื่นในงานขึ้นรูปแผ่นโลหะ

Effect of Sliding Velocity on Tribological Performance of Metalworking Fluids in Deep Drawing

ภาณุวัฒน์ จิววัฒนารักษ์ (Phanuwat Jewvattanarak)^{1*} ดร.นำพล มหายศนันท์ (Dr.Numpon Mahayotsanun)**

(Received: May 27, 2019; Revised: August 21, 2019; Accepted: September 11, 2019)

บทคัดย่อ

รายงานการวิจัยนี้ศึกษาเกี่ยวกับผลของการเปลี่ยนแปลงความเร็วในการขึ้นรูปแผ่นโลหะต่อประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีของสารหล่อลื่น โดยใช้การทดสอบทางไทรโบโลยีสำหรับงานขึ้นรูปแผ่นโลหะ (Strip Drawing Tribometer) และการตรวจสอบการสึกหรอ (Wear) ซึ่งแผ่นโลหะที่ใช้ในการศึกษานี้คือ เหล็ก JSH780R วัสดุแม่พิมพ์ที่ทดสอบคือ เหล็ก SKD11 โดยจะทำการกดวัสดุแม่พิมพ์บนแผ่นโลหะ โดยใช้แรงกดแม่พิมพ์ที่ 8000 N ซึ่งแรงที่ให้นั้นจะเป็นแรงทดสอบที่คงที่ในการกระทำต่อชิ้นงาน (static load test) โดยทำการทดสอบที่อุณหภูมิห้อง ภายใต้สารหล่อลื่น 3 ประเภทคือ (1) สารหล่อลื่นที่ผสมคลอรีน (2) สารน้ำมันหล่อลื่น และ (3) สารหล่อลื่นที่ไม่ผสมคลอรีน และดำเนินการทดสอบภายใต้การเคลื่อนที่ของแผ่นโลหะที่ 10 มม./นาที กับ 100 มม./นาที ซึ่งตัวชี้วัดประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีจะสามารถวัดได้จาก ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of Friction) และการสึกหรอของแม่พิมพ์ (Die Wear) โดยจากผลการทดสอบสรุปได้ว่า สารหล่อลื่นที่มีส่วนประกอบหลักเป็นคลอรีนกับซัลเฟอร์ (สารหล่อลื่นที่ผสมคลอรีน) จะไม่ได้รับผลกระทบทางไทรโบโลยีจากการเพิ่มความเร็ว แต่สารหล่อลื่นที่มีส่วนประกอบหลักเป็นซัลเฟอร์อย่างเดียว (สารน้ำมันหล่อลื่น และ (3) สารหล่อลื่นที่ไม่ผสมคลอรีน) จะมีค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสึกหรอลดลงเมื่อความเร็วสูงขึ้น

ABSTRACT

This research studied the effect of sliding velocity of sheet metal on the tribological performance of metalworking fluids by using the strip drawing tribometer and wear evaluation. The considered sheet and die materials were JSH780R and SKD11, respectively. By pressing the mold material on the sheet metal using the pressure of the mold at 8000 N which is a static load test that operates at room temperature. The sheet samples were pressed between the dies under three types of lubricants: (1) chlorine additive oil, (2) mineral base oil, and (3) chlorine-free. The samples were also pressed between the dies and sliding at 10 mm/min and 100 mm/min. The tribological performance of the tests were evaluated by the coefficient of friction (COF) and die wear. The tribology test results showed that chlorine additive oil was not affected by the sliding velocity. The COF values and die wear of both mineral base and chlorine-free oils were reduced when the sliding velocity increased.

คำสำคัญ: การขึ้นรูปแผ่นโลหะ สารหล่อลื่นสำหรับงานขึ้นรูปโลหะ ความเร็ว

Keywords: Deep drawing, Metalworking fluids, Sliding velocity

¹Corresponding author: phanuwat_j@kkumail.com

*นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

บทนำ

สารหล่อลื่นสำหรับการขึ้นรูปโลหะ (Metalworking Fluids หรือ MWF) นั้นมีความสำคัญอย่างยิ่งยวดที่จะทำให้กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming) นั้นประสบความสำเร็จ เนื่องจากการเสียดสีกันระหว่างแม่พิมพ์กับโลหะระหว่างขึ้นรูปนั้นก่อให้เกิดความร้อน (Heat) และก่อให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนที่ขึ้นรูปกับแม่พิมพ์ในรูปแบบของการสึกหรอ (Wear) ได้ง่าย ดังนั้นหน้าที่หลักของสารหล่อลื่นคือการลดความร้อน (Heat Reduction) ที่เกิดขึ้น [1] สารหล่อลื่นสำหรับการขึ้นรูปโลหะนั้นแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ มีน้ำมันเป็นส่วนประกอบหลัก (Oil-Based MWF) กับ มีน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก (Water-Based MWF) ซึ่งทั้งสองประเภทนี้จะเติมสารเติมแต่ง (Additives) เข้าไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ อาทิเช่น Extreme Pressure (EP) สำหรับงานที่อยู่ภายใต้แรงดันสูง และ Anti-Wear (AW) สำหรับงานที่อยู่ภายใต้การสึกหรอสูง

เนื่องจากประเภทของงานขึ้นรูปโลหะนั้นมีหลายประเภท และใช้สภาวะในการขึ้นรูป อาทิเช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความดัน (Pressure) ความเร็ว (Velocity) และอัตราการขยายตัวของโลหะ (Expansion Ratio) ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นสารหล่อลื่นสำหรับการขึ้นรูปโลหะที่ใช้ในแต่ละงานนั้นจะแตกต่างกันออกไปด้วย Bay et al. [2] ได้ทำการรวบรวมแนวทางในการใช้สารหล่อลื่นสำหรับการขึ้นรูปโลหะในแต่ละประเภท และสรุปว่าการทำงานของสารหล่อลื่นในแต่ละประเภทนั้นจะต้องให้ความสำคัญกับ ปฏิกริยาทางเคมี (Chemical Interactions) ที่เกิดขึ้นระหว่างแม่พิมพ์กับชิ้นส่วนโลหะในกระบวนการต่าง ๆ

Schulz et al. [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกริยาที่เป็นไปได้ของสารเติมแต่งบนผิวโลหะในเชิงทฤษฎี และได้ค้นพบว่าทฤษฎีที่ว่าคุณสมบัติทางเคมีที่เป็นเนื้อเดียวกัน (Homogeneous Chemical Properties) บนผิวโลหะนั้นไม่ถูกต้องเนื่องจากสารเติมแต่งนั้นไปเปลี่ยนคุณสมบัติทางไฟฟ้า (Electric Properties) ของโลหะ ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อปฏิกริยาของกระบวนการทางเคมีที่เกิดขึ้น และท้ายที่สุดทำให้กระบวนการที่เกิดขึ้นซับซ้อนเกินกว่าจะคาดการณ์ว่าคุณสมบัติทางเคมีเป็นเนื้อเดียวกัน

Huesmann-Cordes et al. [4] ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสารเติมแต่งในสารหล่อลื่นสำหรับการขึ้นรูปโลหะต่อการสึกหรอ โดยใช้ชุดทดสอบการสึกหรอแรงเสียดทานหมุนดันกับแม่พิมพ์ที่ใช้สารหล่อลื่นที่มีส่วนประกอบและชนิดของสารเติมแต่งแตกต่างกันไป และได้ค้นพบว่าอัตราส่วนและประเภทของสารเติมแต่งที่ทดสอบนั้นให้ผลที่เป็นเชิงบวกหรือร่วมกัน (Synergistic) และผลที่เป็นเชิงลบหรือตรงกันข้ามกัน (Antagonistic) กับ การสึกหรอที่เกิดขึ้น Brinksmeier et al. [5] ได้อธิบายถึงกลไก (Mechanism) และประสิทธิภาพ (Performance) ของสารหล่อลื่นสำหรับการขึ้นรูปโลหะในกระบวนการผลิต และค้นพบว่าสิ่งที่น่าสนใจ และทำให้ประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นในแต่ละกระบวนการขึ้นรูปโลหะสูงสูดนั้นจำเป็นที่จะต้องเข้าใจถึง เคมี (Chemistry) สถานะของจุลินทรีย์ (Microbial State) คุณสมบัติทางเคมีของพื้นผิวโลหะ (Chemical Properties of Metal Surfaces) ลักษณะทางกายภาพของกระบวนการผลิต (Physical Properties of Manufacturing Processes) และความเป็นไปได้ของปฏิกริยาระหว่างสารเติมแต่งกับผิวโลหะ (Possibilities of Chemical Substances to Interact with Metal Surfaces) ในปัจจุบันนั้นได้มีความเข้มงวดมากขึ้นเกี่ยวกับการใช้สารเคมีหรือสารเติมแต่งในสารหล่อลื่น เนื่องจากสารเคมีบางอย่งนั้นเป็นอันตรายมาตั้งแต่กระบวนการผลิตสารหล่อลื่นไปจนถึงกระบวนการใช้และกำจัดสารหล่อลื่นในอุตสาหกรรม หนึ่งในสารเติมแต่งที่เป็นอันตรายคือ คลอรีน (Chlorine) ดังนั้นจึงมีแนวโน้มในการพัฒนาสารหล่อลื่นที่ไม่ใช้คลอรีน หรือหาสารหล่อลื่นที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมในรูปแบบต่าง ๆ เพื่อนำมาแทนที่การใช้คลอรีน อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นทดแทนนั้น

จำเป็นที่จะต้องมีประสิทธิภาพเหมาะสมกับการใช้งานในกระบวนการผลิต [6-8] ซึ่งในปัจจุบันยังจำเป็นที่จะต้องใช้การลองผิดลองถูกอยู่มาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ

นอกจากนี้แล้ว [9-17] การทดสอบประสิทธิภาพของสารหล่อลื่นในส่วนใหญ่มักจะวัดคุณสมบัติทางไทรโบโลยี ซึ่งจะเน้นไปที่การวัดความเสียดทาน และการสึกหรอที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาวะที่สนใจ ในส่วนของการทดสอบคุณสมบัติทางไทรโบโลยีของสารหล่อลื่นในกระบวนการขึ้นรูปโลหะนั้นจะเน้นไปที่การวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of Friction หรือ COF) และการสึกหรอของแม่พิมพ์ (Die/Tool Wear) โดยใช้เครื่องทดสอบทางไทรโบโลยี (Tribometer) ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เหมาะสมหรือใกล้เคียงกับสภาวะที่เกิดขึ้นจริงในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ

จากการทบทวนทางวรรณกรรมเบื้องต้น ทีมวิจัยสังเกตเห็นว่า หนึ่งในตัวแปรสำคัญในกระบวนการขึ้นรูปโลหะ คือ ความเร็ว (Velocity) ซึ่งมีความเป็นไปได้สูงต่อการเปลี่ยนแปลงปฏิกิริยาทางเคมีที่ซับซ้อนจากสารเติมแต่งของสารหล่อลื่นสำหรับการขึ้นรูปโลหะ เนื่องจากความเร็วที่แตกต่างกันจะทำให้เกิดปริมาณความร้อนเกิดขึ้น (Heat Generation) แตกต่างกันไป แต่ความเข้าใจถึงความร้อนที่เกิดขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารเติมแต่งที่แตกต่างกันนั้นยังเป็นเรื่องที่ไม่สามารถระบุได้แน่ชัด และเนื่องจากการหาสารหล่อลื่นที่ไม่มีคลอรีนนั้นยังเป็นสิ่งที่มีการลองผิดลองถูกอยู่ในอุตสาหกรรม ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาถึงผลกระทบของความเร็วที่เกิดขึ้นในกระบวนการขึ้นรูปโลหะกับประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีของสารหล่อลื่นที่มีคลอรีนกับไม่มีคลอรีน

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลกระทบของความเร็วในการขึ้นรูปแผ่นโลหะกับประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีของสารหล่อลื่นที่มีคลอรีนกับไม่มีคลอรีน

วิธีการและวัสดุ

เครื่องมือทดสอบทางไทรโบโลยี

ทีมวิจัยได้ออกแบบและพัฒนาเครื่องมือทดสอบทางไทรโบโลยีสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแผ่นโลหะ (Strip Drawing Tribometer) ขึ้นเอง โดยอาศัยแรงดึงแผ่นโลหะจากเครื่องทดสอบสากล (Universal Testing Machine หรือ UTM) ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยหลักการในการทดสอบคือ การวางแผ่นโลหะ (Workpiece) ระหว่างแม่พิมพ์ (Left Die กับ Right Die) โดยแผ่นโลหะจะถูกแม่พิมพ์กดด้วยแรงดัน (Normal Forces) ที่กำหนด จากนั้นแผ่นโลหะจะถูกยึดติดแน่นกับมือจับของเครื่อง UTM แล้วดึงแผ่นโลหะขึ้นด้วยความเร็วและระยะทางที่กำหนด ซึ่งแรงที่ใช้ในการดึงแผ่นโลหะ (Tensile Force หรือ F_T) และ แรงกดแม่พิมพ์ (Normal Force หรือ F_N) ที่วัดได้จากเครื่องทดสอบจะสามารถนำไปคำนวณค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานได้จากสมการที่ 1

$$\mu = F_T / 2F_N \quad (1)$$

ซึ่งในการทดสอบนี้จะสมมติว่าแรงเสียดทาน (Friction Force หรือ F_F) ที่เกิดขึ้นระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองด้านกับแผ่นโลหะนั้นมีค่าเท่ากัน เนื่องจากผิวของแผ่นโลหะนั้นเหมือนกันทั้งสองด้านและแม่พิมพ์ทั้งสองนั้นได้ผลิตมาด้วยกระบวนการเตรียมชิ้นงานเหมือนกัน

วัสดุในการทดลอง

วัสดุแม่พิมพ์และชิ้นงานที่ใช้ในการศึกษานี้คือ SKD11 และ JSH780R ตามลำดับ โดยสาเหตุที่เลือกใช้วัสดุทั้งสองนี้เนื่องจากเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมขึ้นรูปชิ้นส่วนแผ่นยานยนต์ ในส่วนของแม่พิมพ์ด้านซ้ายนั้นมีขนาด 45 mm x 30 mm x 16 mm และแม่พิมพ์ด้านขวามีขนาด 40 mm x 30 mm x 16 mm เป็นโดยพื้นผิวของแม่พิมพ์ทั้งสองนั้นมีความหยาบผิวเฉลี่ย (Surface Roughness หรือค่า Ra) ประมาณ $2.87\text{ }\mu\text{m}$ ซึ่งไม่มีการเคลือบผิว ในส่วนของชิ้นงานนั้นมีขนาด 20 mm x 1,000 mm x 2.9 mm ความหยาบผิวเฉลี่ย (Ra) ของชิ้นงานประมาณ $1.00\text{ }\mu\text{m}$ คุณสมบัติทางกลของวัสดุแม่พิมพ์และชิ้นงานแสดงไว้ในตารางที่ 1 สารหล่อลื่นที่ศึกษาในงานวิจัยนี้คือ (1) สารหล่อลื่นที่มีคลอรีนเป็นสารเติมแต่ง (Chlorine Additive) (2) สารหล่อลื่นที่ไม่มีคลอรีนเป็นสารเติมแต่ง (Chlorine Free) และ (3) น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Mineral Base) โดยคุณสมบัติของสารหล่อลื่นเหล่านี้แสดงไว้ในตารางที่ 2

สภาวะในการทดสอบทางไทรโบโลยี

ตารางที่ 3 แสดงถึงสภาวะในการทดสอบทางไทรโบโลยีสำหรับการขึ้นรูปแผ่นโลหะ โดยจะศึกษาผลกระทบของความเร็วในการขึ้นรูปด้วยการกำหนดค่าความเร็วของเครื่องดึงชิ้นงาน (Sliding Velocity) อยู่ที่ 10 mm/min กับ 100 mm/min กับประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีของสารหล่อลื่นสามชนิดคือ (1) Chlorine Additive (2) Chlorine Free และ (3) Mineral Base ซึ่งก่อนดำเนินการทดลองนั้น แผ่นโลหะจะถูกทาอย่างสม่ำเสมอทั้งแผ่นด้วยสารหล่อลื่นที่ต้องการทดสอบทั้งสองด้านด้วยปริมาณที่เท่ากัน หลังจากนั้นแผ่นโลหะที่มีสารหล่อลื่นจะถูกนำไปวางระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองด้าน แล้วกดด้วยแรงดัน 6.25 MPa และชิ้นส่วนด้านบนของแผ่นโลหะจะถูกจับยึดกับกริปเปอร์ของเครื่อง UTM เพื่อไม่ให้เกิดการลื่นไถลในส่วนที่ถูกจับยึด หลังจากนั้นกริปเปอร์จะดึงแผ่นโลหะขึ้นด้วยความเร็วที่ต้องการศึกษาเป็นระยะทาง 300 mm ในการทดสอบทุก ๆ สภาวะนั้นจะทดสอบที่ อุณหภูมิห้อง ($25\text{ }^{\circ}\text{C}$) ด้วยแรงกด 6.25 MPa และระยะทางในการดึงแผ่นโลหะ 300 mm เมื่อสิ้นสุดระยะทางในการดึงแผ่นโลหะในแต่ละสภาวะแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้ในแต่ละสภาวะจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 โดยค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้นั้นจะเป็นค่าที่ได้จากการดึงแผ่นโลหะตั้งแต่เริ่มต้น (0 mm) จนถึงสิ้นสุด (300 mm)

เมื่อการทดสอบในแต่ละสภาวะสิ้นสุดลง แม่พิมพ์ทั้งสองจะถูกนำไปตรวจการสึกหรอ (Wear) ด้วย Scanning Electron Microscope (SEM) และศึกษาถึงรูปแบบและปริมาณการสึกหรอที่เกิดขึ้นในแต่ละสภาวะ

ผลการทดลอง

เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้ในแต่ละสภาวะนั้นจะเป็นค่าที่ได้จากการดึงแผ่นโลหะระหว่าง 0-300 mm ดังนั้นค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่ได้ระหว่าง 0-300 mm ในแต่ละสภาวะนั้นจะถูกนำมาเปรียบเทียบดังแสดงในภาพที่ 3

ซึ่งในการทดสอบนี้จะกำหนดว่าแรงเสียดทาน (Friction Force หรือ F_f) ที่เกิดขึ้นระหว่างแม่พิมพ์ทั้งสองด้านกับแผ่นโลหะนั้นมีค่าเท่ากัน เนื่องจากผิวของแผ่นโลหะนั้นเหมือนกันทั้งสองด้านและแม่พิมพ์ทั้งสองนั้นได้ผลิตมาด้วยกระบวนการเตรียมชิ้นงานเหมือนกัน

สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลกระทบของความเร็วในการดึงขึ้นรูปแผ่นโลหะกับประสิทธิภาพทางไทรโบโลยีโดยใช้สารหล่อลื่นที่มีสารเติมแต่งแตกต่างกัน ซึ่งวัสดุแม่พิมพ์และแผ่นโลหะที่ทดสอบคือ SKD11 และ JSH780R ตามลำดับ

โดยสารหล่อลื่นที่ศึกษาคือ สารหล่อลื่นที่มีคลอรีนเป็นสารเติมแต่ง (Chlorine Additive) น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน (Mineral Base) และ สารหล่อลื่นที่ไม่มีคลอรีน (Chlorine Free) เป็นสารเติมแต่ง โดยเครื่องมือทดสอบทางโทรโบโลยีของกระบวนการขึ้นรูปแผ่นโลหะได้ถูกพัฒนาเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างแผ่นโลหะกับผิวแม่พิมพ์ ภายใต้สภาวะการใช้สารหล่อลื่นทั้งสามชนิด และความเร็วในการดึงแผ่นโลหะ 10 mm/min และ 100 mm/min

ซึ่งผลจากการทดลองกระบวนการลากขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยเครื่อง Tribometer ที่สร้างขึ้น ค่าของแรงกดแม่พิมพ์ (Contact Pressure) ความเร็วที่ใช้ในการพิมพ์ (Sliding Velocity) และคุณสมบัติของสารหล่อลื่นที่ใช้ มีความสัมพันธ์กับกระบวนการในการลากขึ้นรูป และเพื่อให้เข้าใจขึ้นจึงได้ทำการทดลองการลากขึ้นรูป และนำค่าการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับ การทดลองใช้แรงกดที่ 8 kN โดยดึงที่มุม 0 องศา และใช้ความเร็วในการดึง (sliding speed) ที่ 10 mm/min และ 100 mm/min โดยใช้เปรียบเทียบกับ การทดลองที่ 4 สถานะ จะสังเกตเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของความเร็วในการดึง 100 mm/min จะมีค่าที่สูงกว่าความเร็วในการดึง 10 mm/min โดยสังเกตจากสถานะ Dry หรือไม่มีการใช้น้ำมันหล่อลื่น ว่าคุณสมบัติความเร็วที่ใช้ในการพิมพ์มีผลต่อปัจจัยในการขึ้นรูปโลหะ และจะสังเกตเห็นได้ว่าการทดลองขึ้นงานขึ้นรูปที่มีการนำสารหล่อลื่น (Lubricants) มาใช้ในการทดลองสารหล่อลื่นที่มีส่วนผสมของ Chlorine additive forming oil คือ FD3000 จะช่วยลดแรงเสียดทานขณะที่มีการทำการขึ้นรูปเนื่องจากคุณสมบัติของตัวคลอรีนซึ่งเป็นสารปรุงแต่งในน้ำมันหล่อลื่นเป็นสารต้านทานปฏิกิริยาออกซิเดชัน และมีความเหนียวที่เหมาะสมต่อการใช้งานที่อุณหภูมิห้อง อย่างไรก็ตาม น้ำมันหล่อลื่นมักจะผลิตขึ้นมาเพื่อใช้งานเฉพาะอย่าง เช่น น้ำมันเครื่องยนต์ น้ำมันเกียร์ น้ำมันไฮดรอลิก เป็นต้น ในการที่จะเลือกน้ำมันหล่อลื่นชนิดใดชนิดหนึ่งขึ้นมาใช้ในการทดลองควรพิจารณาถึงหน้าที่ที่ น้ำมันหล่อลื่น นั้นจะต้องกระทำ และสภาวะต่างๆ ที่ น้ำมันหล่อลื่น นั้นจะต้องประสบในขณะที่ทำการหล่อลื่น จากนั้นจึงเลือกสรรมาทำการทดลอง เพราะจะส่งผลต่อปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับระบบการทดลอง น้ำมันหล่อลื่นพื้นฐาน และชนิดปริมาณของสารเพิ่มคุณภาพที่เหมาะสมกับงานที่ต้องการ จากนั้นจึงมีการทดสอบใช้งานจริง และประเมินเพื่อให้แน่ใจว่าน้ำมันหล่อลื่น ดังกล่าวมีคุณภาพตรงความต้องการ เพราะน้ำมันหล่อลื่นแต่ละชนิดใช้น้ำมันพื้นฐานชนิด และปริมาณของสารเพิ่มคุณภาพไม่เหมือนกัน รวมถึงการเลือกสรรวัสดุที่จะนำมาทำการทดสอบ เพราะคุณสมบัติของตัวเหล็กก็มีความแตกต่างกันไปตามคุณสมบัติการผลิตของเหล็กแต่ละตัว

จากผลการทดลองสรุปได้ว่า การเพิ่มความเร็วในการขึ้นรูปแผ่นโลหะนั้นส่งผลทำให้เกิดความร้อนระหว่างโลหะกับสารหล่อลื่น ซึ่งความร้อนนี้จะช่วยทำให้ปฏิกิริยาทางเคมีของสารหล่อลื่นที่มี Sulfur เป็นส่วนประกอบหลัก (Mineral Base กับ Chlorine Free) นั้นสร้างชั้น Metal Oxides ได้ง่าย ซึ่ง Metal Oxides นั้นทำให้เกิดชั้นป้องกันการสึกหรอในผิวของโลหะได้ โดยส่งผลกระทบบ้างค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสึกหรอลดลง อย่างไรก็ตาม การเพิ่มความเร็ว และความร้อนที่เพิ่มขึ้นนั้นไม่ส่งผลกระทบบต่อสารหล่อลื่นที่มีส่วนประกอบหลักเป็น Chlorine และ Sulfur เนื่องจาก สารหล่อลื่นที่มี Chlorine นั้นสามารถสร้างชั้น Metal Oxides ได้ง่ายโดยไม่จำเป็นต้องใช้ความร้อน หรือ การเพิ่มความเร็ว เพื่อให้สามารถทำปฏิกิริยาทางเคมีได้ขึ้นกับผิวโลหะ ซึ่งค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานและการสึกหรอนั้นจะมีค่าต่ำ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจาก Cluster and Management Program Office (CPMO) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (เลขที่โครงการ P-12-01547) บริษัท Yushiro Chemical Industry บริษัท Fuji Die บริษัท Thai Summit R&D Next Technology ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC) และ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

1. 51385 DIN. Lubricants—Processing Fluids for Forming and Machining of Materials—Terms, Beuth-Verlag; 2013.
2. Bay N, Azushima A, Groche P, Ishibashi I, Merklein M, Morishita M, Nakamura T, Schmid S, Yoshida M. Environmentally Benign Tribo-systems for Metal Forming. *Annals of the CIRP—Manufacturing Technologies*. 2010; 59(2):760–780.
3. Schulz J, Brinksmeier E, Meyer D. On the Interactions of Additives in Metalworking Fluids with Metal Surfaces. *Lubricants*. 2013; 1(4):75-94.
4. Huesmann-Cordes A-G, Meyer D, Brinksmeier E, Schulz J. Influence of Additives in Metalworking Fluids on the Wear Resistance of Steels. *Procedia CIRP, 2nd CIRP Conference on Surface Integrity (CSI)*, 108–113vol. 13; 2014.
5. Brinksmeier E, Meyer D, Huesmann-Cordes A-G, Herrmann C. Metalworking fluids—Mechanisms and performance. *CIRP Annals*. 2015; 64(2): 605-628.
6. Petrushina IM, Christensen E, Bergqvist RS, Møller PB, Bjerrum NJ, Høj J, Kaan G, Chorkendorff I. On the chemical nature of boundary lubrication of stainless steel by chlorine- and sulfur-containing EP-additives. *Wear* 246(1– 2):98-105; 2000.
7. Gao F, Kotvis PV, Tysoe WT. The surface and tribological chemistry of chlorine- and sulfur-containing lubricant additives. *Tribol International*. 2004; 37(2):87-92.
8. Furlong O, Gao F, Kotvis P, Tysoe WT. Understanding the tribological chemistry of chlorine-, sulfur- and phosphorus-containing additives. *Tribol International*. 2007; 40(5):699-708.
9. Muraki M, Tagawa K, Ide H, Nakamura T. Frictional Behaviour of Lubricants during Deep Drawing and Ironing Processes for Zinc-Coated Steel Sheets. *Journal of Engineering Tribology*. 1996; 210(3):189-197.
10. Bay N, Olsson DD, Andreasen JL. Lubricant test methods for sheet metal forming. *Tribology International*. 2008; 41(9- 10):844-853.
11. Kim H, Han S, Yan Q, Altan T. Evaluation of tool materials, coatings and lubricants in forming galvanized advanced high strength steels (AHSS). *CIRP Annals*. 2008; 57(1):299-304.
12. Hardell J, Kassfeldt E, Prakash B. Friction and wear behaviour of high strength boron steel at elevated temperatures of up to 800°C. *Wear*. 2008; 264(9-10):788-799.
13. Cora, Namiki K, Koç M. Wear performance assessment of alternative stamping die materials utilizing a novel test system. *Wear*. 2009; 267(5-8):1123-1129.
14. Monetti C, Ilo S, Lebersorger T. Characterization of lubricants for metal forming by means of an oscillating tribo-test-rig. *Journal of Engineering Tribology*. 2009; 223(5):817-826.
15. Nielsen PS, Friis KS, Bay N. Testing and modelling of new tribo-systems for industrial sheet forming of stainless steels. *Journal of Engineering Tribology*. 2011; 225(10):1036-1047.
16. Lai X, Xia Y, Wu X, Zhou Q. An experimental method for characterizing friction properties of sheet metal under high contact pressure. *Wear*. 2012; 289:82-94.

17. Baccouch Z, Mnif R, Elleuch R, Richard C. Analysis of friction, wear and oxidation behaviour of X40CrMoV5/Fe360B steel couple in an open-sliding contact. *Journal of Engineering Tribology*. 2014; 228(3):276-287.

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกลของวัสดุแม่พิมพ์และชิ้นงาน

Part	Material (JIS)	Tensile strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (HRC)
Die	SKD11	-	-	-	58-62
Workpiece	JSH780R	780	685	14-29	-

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของสารหล่อลื่นที่ศึกษา

Property	Chlorine Additive	Chlorine Free	Mineral Base
Active elements	Chlorine (<20 wt%), Sulfur (<10 wt%), Fatty oil (<20 wt%)	Sulfur (<10 wt%), Fatty oil (<10 wt%)	Sulfur (0.349 wt%)
Base oil group	Group II	Group II	Group I
Appearance	Dark red transparent	Dark brown transparent	Clear and bright
Specific gravity (g/cm ³ , 15°C)	1.0000	0.9200	0.8856
Viscosity (mm ² /s, 40°C)	135	126	96
Copper corrosion test (100 °C × 1hr)	2 (Inactive)	4 (Active)	1 (Active)
Application	Forming oil	Forming oil	Base oil

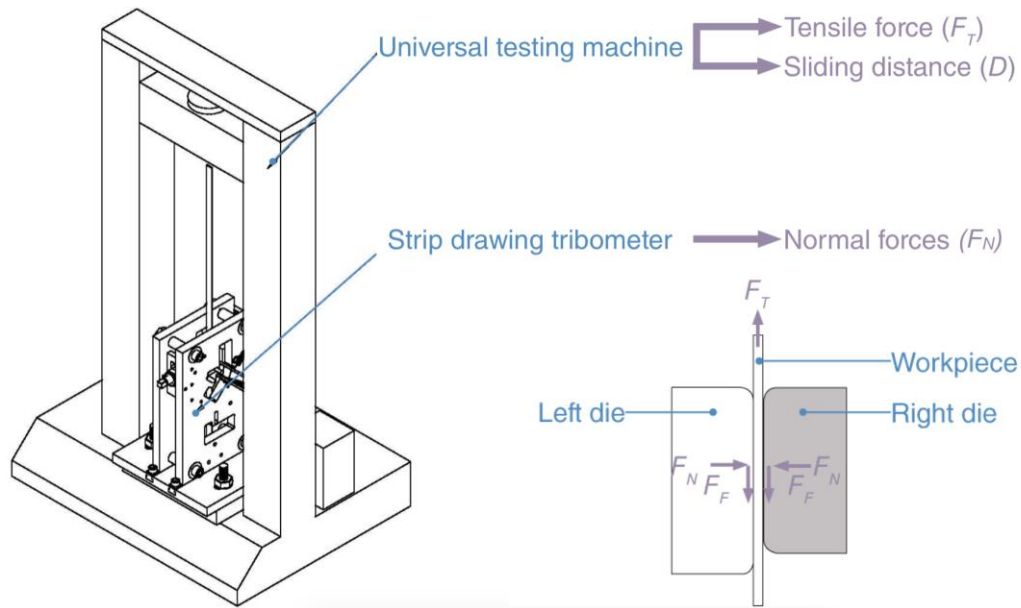


ตารางที่ 3 เงื่อนไขการทดสอบของการลากขึ้นรูป

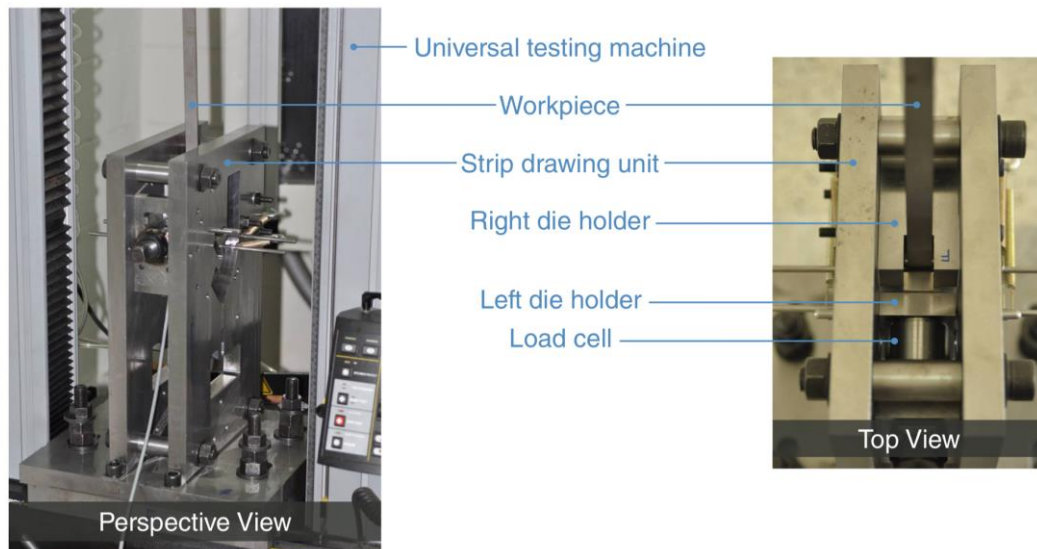
Parameter	Value(s)
Workpiece	JSH780R
Die	SKD11
Contact pressure	6.25 MPa
Temperature	25 °C
Sliding distance	300 mm
Sliding speed	10 mm/min and 100 mm/min
Lubrication	Chlorine Additive, Chlorine Free, Mineral Base

ตารางที่ 4 ประสิทธิภาพทางโทรโบโลยีของสารหล่อลื่นที่ศึกษา

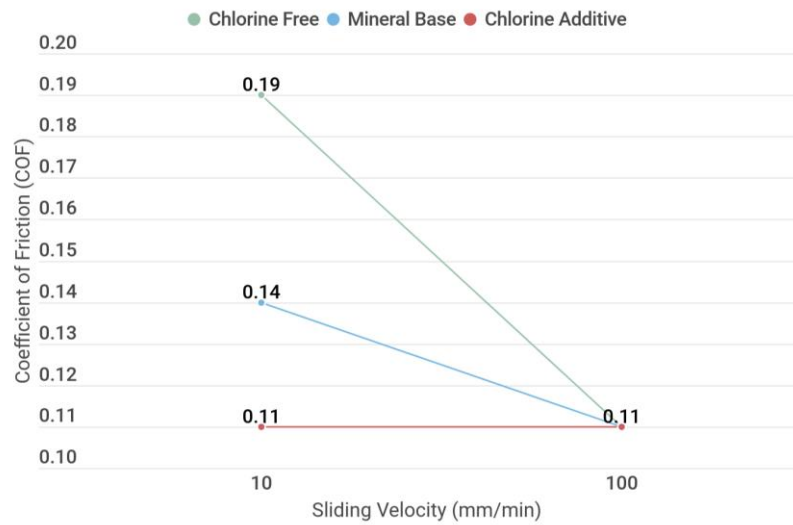
Lubricants	Major Compositions	10 mm/min (Low Speed/Heat Generation)		100 mm/min (High Speed/Heat Generation)		Note
		COF	Wear	COF	Wear	
Chlorine Additive	Cl (<20 wt%), S (<10 wt%)	0.11	Low	0.11	Low	No heat required for metal oxides layer
Mineral Base	S (<0.349 wt%)	0.14	High	0.11	High	Heat required for metal oxides layer
Chlorine Free	S (<10 wt%)	0.19	High	0.11	High	Heat required for metal oxides layer



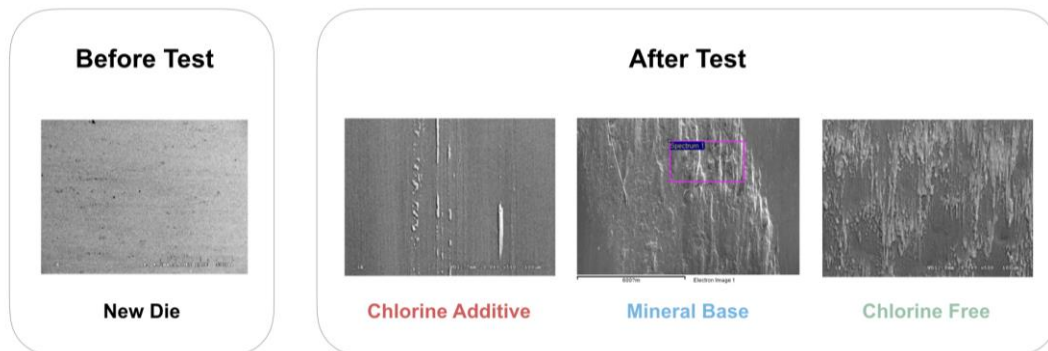
ภาพที่ 1 เครื่องทดสอบทางไทรโบโลยีสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบโลหะ



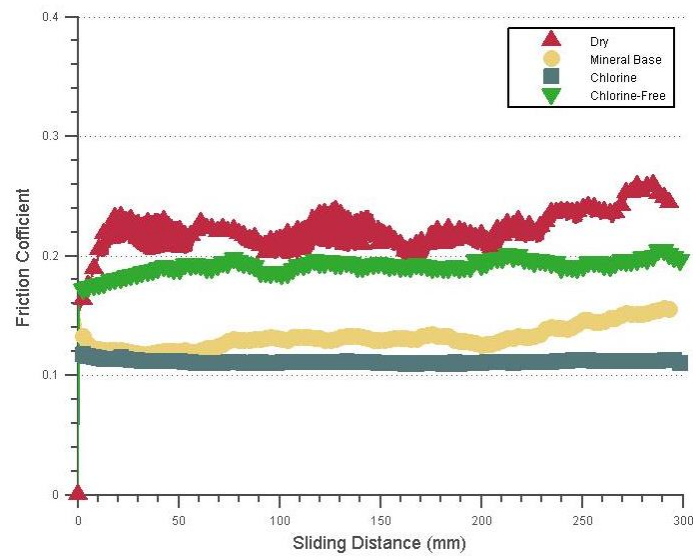
ภาพที่ 2 ส่วนประกอบของเครื่องทดสอบทางไทรโบโลยีสำหรับกระบวนการขึ้นรูปแบบโลหะ



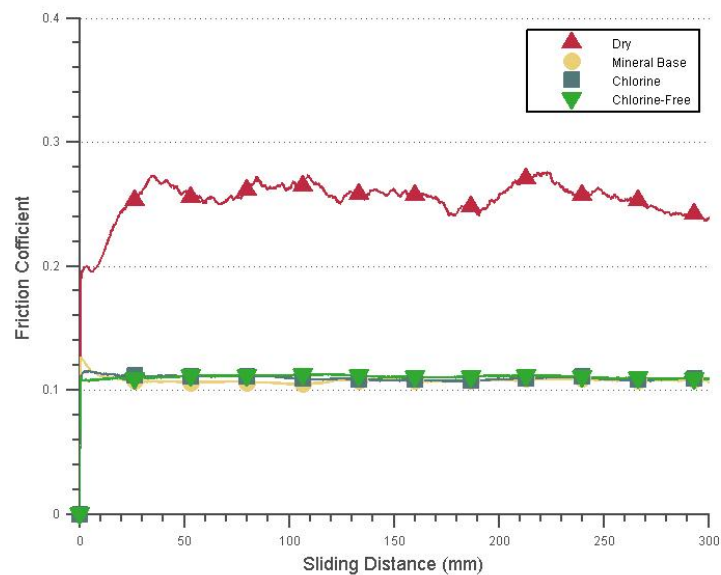
ภาพที่ 3 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของสารหล่อลื่นที่ศึกษาในสภาวะที่ใช้ความเร็วที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4 ผลของการสึกหรอของแม่พิมพ์ก่อน (Before Test) และหลังการทดสอบ (After Test) ที่ใช้สารหล่อลื่นที่ศึกษาในสภาวะที่ใช้ความเร็ว 100 mm/min



ภาพที่ 5 แสดงภาพค่า Friction Coefficient vs. Sliding Distance of JSH780R strip drawing at, 8 kN. normal force, 10 mm/min sliding speed



ภาพที่ 6 แสดงภาพค่า Friction Coefficient vs. Sliding Distance of JSH780R strip drawing at, 8 kN normal force, 100 mm/min sliding speed