

# กลไกการสึกหรอของเครื่องมือตัดในกระบวนการไฟน์แบลنگก์ของเหล็กกล้า JIS SPHD P/O: การวิเคราะห์ผลกระทบของระยะช่องว่าง ความเร็วในการตัด และแรงตัดเนื่องต่อการเสื่อมสภาพของฟันซ์และด้าย

สุเทพ เยี่ยมชัยภูมิ<sup>1\*</sup>, บรรยงค์ จงไทยรุ่งเรือง<sup>2</sup>, ชาตรี นุชนาง<sup>3</sup>, มนฤดี ผาบลิ้มมา<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาลัยเชียงราย

<sup>4</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Email: chatree.de63@mail.rmutk.ac.th<sup>3</sup>

Received: Apr 09, 2025

Revised: May 22, 2025

Accepted: May 29, 2025

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการสึกหรอของฟันซ์และด้ายในกระบวนการไฟน์แบลنگก์สำหรับวัสดุ JIS SPHD P/O ความหนา 7 มม. โดยใช้การจำลองและการทดลองจริง โดยปัจจัยที่พิจารณา ได้แก่ ช่องว่างเครื่องมือตัด (1-5%) ความเร็วฟันซ์ (25-45 m/min) แรงกดวีริง (40-80 kN) ค่าความแข็งของฟันซ์และด้าย (60-68 HRC) และมุมขอบคมตัด (20-45°) ในการวิเคราะห์การสึกหรออ้างอิงตามทฤษฎีของ Archard ซึ่งพิจารณาอัตราสึกหรอเชิงปริมาตรเมื่ออยู่ภายใต้แรงกดและการเสียดสี ผลการวิจัยพบว่าช่องว่างเครื่องมือตัดที่เหมาะสมช่วยลดการสึกหรอลงอย่างมีนัยสำคัญ ขณะที่ช่องว่างมากเกินไปเพิ่มการเสียดสีและอัตราสึกหรอ ความเร็วการตัดที่สูงขึ้นทำให้การสึกหรอรุนแรงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นระหว่างกระบวนการตัดเฉือน ส่วนแรงกดวีริงที่เหมาะสมช่วยกระจายแรงเฉือนได้ดี ลดการสึกหรอ ค่าความแข็งของฟันซ์และด้ายที่สูงช่วยลดการสึกหรอ แต่หากมากเกินไปอาจทำให้เกิดการแตกร้าว ขณะที่มุมขอบคมตัดที่เหมาะสมสามารถลดแรงเสียดทานและอัตราสึกหรอของฟันซ์และด้ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลจากการจำลองและการทดลองให้แนวโน้มที่สอดคล้องกันสามารถใช้เป็นแนวทางปรับปรุงกระบวนการไฟน์แบลنگก์ เพื่อลดการสึกหรอของเครื่องมือ ยืดอายุแม่พิมพ์ และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตในอุตสาหกรรมขึ้นรูปโลหะ

**คำสำคัญ:** ทฤษฎีการสึกหรอของอาชาร์ด, การไฟน์แบลنگก์, การจำลองกระบวนการผลิต, การสึกหรอของฟันซ์-ด้าย

## Tool Wear Mechanisms in Fine Blanking of JIS SPHD P/O Steel: Effects of Clearance, Cutting Speed, and Shear force on Punch and Die Degradation

Suthep Yiemchaiyaphum<sup>1</sup>, Bunyong Chongthairungruang<sup>2</sup>,  
Chatree Nutnang<sup>3</sup>, Monrudee Phabsimma<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Division of Industrial Management, Faculty of Engineering, Chiangrai College

<sup>4</sup>Division of Industrial Technology, Faculty of Technical Education, Rajamangala University of  
Technology Krungthep.

Email: chatree.de63@mail.rmutk.ac.th<sup>3</sup>

Received: Apr 09, 2025

Revised: May 22, 2025

Accepted: May 29, 2025

### Abstract

This research investigates the factors affecting punch and die wear in the fine blanking process for JIS SPHD P/O sheet metal with a thickness of 7 mm using both simulations and experimental testing. The factors considered include cutting clearance (1-5%t), Punch Speed (25-45 m/min), V-ring pressure (40-80 kN), punch and die hardness (60-68 HRC), and punch-die edge angle (20-45°). Wear analysis is based on Archard's wear theory, which evaluates volumetric wear rate under compressive forces and friction conditions. The results indicate that the optimal cutting clearance significantly reduces wear, whereas excessive clearance increases deformation and wear rate. Higher shearing speeds intensify wear due to increased temperature during the cutting process. Proper V-ring pressure enhances shear force distribution, reducing wear. Increased punch and die hardness decrease wear, but excessive hardness may lead to tool fracture. Additionally, an appropriate edge angle reduces friction and effectively minimizes punch and die wear. The simulation and experimental results show consistent trends, providing a foundation for optimizing the fine blanking process to reduce tool wear, extend die lifespan, and improve manufacturing efficiency in the sheet metal forming industry.

**Keywords:** Archard's wear theory, Fine blanking, Process simulation, Punch-die wear

## บทนำ

กระบวนการไฟน์แบลนก์ (Fine Blanking) เป็นหนึ่งในเทคนิคการตัดเฉือนโลหะแผ่นที่ได้รับ ความนิยมอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนที่ต้องการความแม่นยำสูงและขอบรอยตัดที่เรียบ โดยกระบวนการนี้ใช้แรงเฉือนสูง ร่วมกับแรงกดวีริง (V-Ring Force) เพื่อควบคุม การเสีรปูของชิ้นงานและลดการฉีกขาดที่ขอบ รอยตัด อย่างไรก็ตาม การใช้งานเครื่องมือที่ประ กอบด้วยพินซ์และตายในกระบวนการต้องเผชิญ กับปัญหาการสึกหรอ ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผล ต่อคุณภาพของชิ้นงาน ต้นทุนการผลิต และอายุ การใช้งานของแม่พิมพ์ การสึกหรอของพินซ์และ ตายสามารถเกิดขึ้นจากหลายปัจจัย ได้แก่ ช่องว่าง เครื่องมือตัด (Die Clearance), ความเร็วพินซ์ (Punch Speed), แรงกดวีริง (V-Ring Force), ค่าความแข็งของพินซ์และตาย (Punch and Die Hardness) และมุมขอบคมตัดของพินซ์และตาย (Punch and Die Edge Chamfer) โดยปัจจัยเหล่านี้ ส่งผลโดยตรงต่อพฤติกรรมการตัดเฉือน อัตรา การสึกหรอ และประสิทธิภาพของกระบวนการ [1-3] การศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยเหล่านี้ จึงมี ความสำคัญอย่างยิ่งในการเพิ่มประสิทธิภาพของ เครื่องมือ ลดต้นทุน และยืดอายุการใช้งานของ แม่พิมพ์

แม้ว่างานวิจัยก่อนหน้านี้จะเน้นการจำลอง เชิงตัวเลข การวิเคราะห์แรงตัด การหล่อลื่น และ การประเมินการสึกหรอในกระบวนการเจาะและ แบลนก์ แต่ยังคงขาดการศึกษาที่ครอบคลุมปัจจัย หลายด้านร่วมกัน เช่น ระยะช่องว่าง ความเร็ว และแรงกด ในบริบทของกระบวนการไฟน์แบลนก์ โดยเฉพาะกับวัสดุเหล็กกล้า JIS SPHD P/O ซึ่งมีการใช้งานจริงในอุตสาหกรรมยานยนต์ นอกจากนี้ ยังพบว่างานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นวัสดุประเภท ความแข็งแรงสูงหรืออัลลอยพิเศษ ขณะที่การสึก หรอของเครื่องมือตัดในวัสดุเหล็กที่ร้อนทั่วไปยัง

ขาดความเข้าใจเชิงลึก การวิเคราะห์กลไกการสึก หรอที่เชื่อมโยงกับเงื่อนไขการตัดแบบหลายตัวแปรจึงยังเป็นประเด็นที่จำเป็นต่อการศึกษา เพิ่มเติม

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการวิเคราะห์ และศึกษา ผลกระทบของปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นต่อการสึก หรอของพินซ์และตายที่มาจาก วัสดุ AISI M2 ใน กระบวนการไฟน์แบลนก์สำหรับวัสดุ JIS SPHD P/O ความหนา 7 มิลลิเมตร โดยใช้การจำลอง ทางคอมพิวเตอร์และการทดลองจริง นอกจากนี้ งานวิจัยยังอ้างอิงการคำนวณตาม ทฤษฎีการสึก หรอของ Archard ซึ่งพิจารณาการสึกหรอในเชิง ปริมาตรเมื่อเครื่องมืออยู่ภายใต้แรงกดและการ เสียดสี [3-8]

ผลการศึกษานี้จะช่วยให้เข้าใจถึงกลไกการ สึกหรอของเครื่องมือในกระบวนการไฟน์แบลนก์ ได้ดียิ่งขึ้น รวมถึงสามารถนำไปใช้เป็นแนว ทาง ในการออกแบบและพัฒนาแม่พิมพ์ให้มี ประสิทธิภาพสูงขึ้น ลดอัตราการสึกหรอ และ เพิ่มเสถียรภาพในกระบวนการผลิตใน อุตสาหกรรมการขึ้นรูปโลหะ

## วัตถุประสงค์การวิจัย

1. ศึกษาผลกระทบของช่องว่างเครื่องมือตัด ความเร็วพินซ์แรงกดวีริง ค่าความแข็งพินซ์-ตาย และมุมขอบคมตัดพินซ์-ตายต่ออัตราการสึกหรอ ของพินซ์และตาย
2. เปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองทาง คอมพิวเตอร์กับผลที่ได้จากการทดลองจริง
3. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ กับอายุการใช้งานเครื่องมือตัด

## ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษารูปแบบของ ช่องว่างเครื่องมือตัด, ความเร็วการตัดเฉือน, แรง กดวีริง, ค่าความแข็งของพินซ์และตาย, และมุม

ขอบคมตัดของฟันซ์และตายต่อการสึกหรอของ  
ฟันซ์และตายตามทฤษฎีของอาชาร์ด (Archard  
Wear Model) โดยใช้การจำลองทางคอมพิวเตอร์  
และการทดลองจริงซึ่งดำเนินการตามขั้นตอน  
ดังนี้ [4-5, 8]

### การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)

การทดลองถูกออกแบบให้มีปัจจัยตัวแปร 5  
ตัว ซึ่งแต่ละปัจจัยมีระดับที่แตกต่างกันดังนี้ ช่อง  
ว่างเครื่องมือตัด 1, 2, 3, 4, 5% t ความเร็วฟันซ์  
25, 30, 35, 40, 45 m/min แรงกดวีริง 40, 50,  
60, 70, 80 kN ค่าความแข็งของฟันซ์และตาย  
60, 62, 64, 66, 68 HRC มุมขอบคมตัดของฟันซ์  
และตาย 20, 25, 30, 35, 40, 45 องศา ดังภาพ  
ที่ 1 การทดลองใช้ การออกแบบแบบ Full  
Factorial Design เพื่อให้สามารถวิเคราะห์  
ผลกระทบของแต่ละปัจจัยอย่างละเอียด

### การจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Simulation)

การจำลองกระบวนการไฟน์แบลنگ์ถูก  
ดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ Finite Element  
Analysis (FEA) เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัย  
ที่กำหนด โดยขั้นตอนในการจำลองมีดังนี้ การ  
สร้างแบบจำลองทางเรขาคณิต (Geometry  
Modeling) ของฟันซ์ ตาย และชิ้นงาน การกำหนด  
สมบัติของวัสดุ เช่น ฟันซ์และตายทำจากวัสดุ  
AISI M2 ชิ้นงานทำจากวัสดุ JIS SPHD P/O  
ความหนา 7 มิลลิเมตร การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต  
(Boundary Conditions) ตามค่าพารามิเตอร์ที่  
กำหนด การจำลองกระบวนการไฟน์แบลنگ์ และ  
วิเคราะห์การกระจายของแรง การเสียรูป และ  
อัตราการสึกหรอของฟันซ์และตาย [3-6, 8-10]



ภาพที่ 1 มุมขอบคมตัดของฟันซ์และตาย

### การทดลองจริง (Actual Experiment)

เพื่อยืนยันผลการจำลอง การทดลองจริงถูก  
ดำเนินการโดยใช้แม่พิมพ์ไฟน์แบลنگ์ที่มีการ  
ควบคุมพารามิเตอร์การทำงานตามที่ออกแบบ  
โดยขั้นตอนการทดลองมีดังนี้ การเตรียมวัสดุ ใช้  
วัสดุ AISI M2 สำหรับฟันซ์และตาย ใช้วัสดุ JIS  
SPHD P/O หนา 7 มิลลิเมตร สำหรับชิ้นงาน  
การตัดเฉือนโดยใช้แม่พิมพ์ไฟน์แบลنگ์ ภายใต้  
ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด การวิเคราะห์การสึก  
หรอของฟันซ์และตาย ใช้กล้องจุลทรรศน์  
อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron  
Microscope: SEM) และเครื่องมือวัดโปรไฟล์ผิว  
เพื่อตรวจสอบลักษณะการสึกหรอ คำนวณอัตรา  
การสึกหรอโดยใช้ สมการของ Archard [8-12]

### การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis)

ข้อมูลจากการจำลองและการทดลองถูก  
นำมาวิเคราะห์โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความ  
แปรปรวน (ANOVA) เพื่อระบุปัจจัยที่มีผลต่อ  
การสึกหรอของฟันซ์และตายมากที่สุด รวมถึง  
สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อคาดการณ์  
อัตราการสึกหรอภายใต้เงื่อนไขต่าง ๆ

## ผลและการวิเคราะห์ผล

### 1. ผลการจำลองด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Simulation Results)

การศึกษานี้ใช้ Finite Element Analysis (FEA) ในการจำลองกระบวนการไฟน์แบลนก์เพื่อตรวจสอบผลกระทบของ ช่องว่างเครื่องมือตัด, ความเร็วการตัดเฉือน, แรงกดวีริง, ค่าความแข็งของพินซ์-ดาย, และมุมขอบคมตัดของพินซ์-ดายต่อการสึกหรอของพินซ์และดาย โดยใช้ Archard Wear Model เป็นพื้นฐานในการประเมินอัตราการสึกหรอ เช่น ขั้นตอนแรกเป็นการตรวจสอบพฤติกรรมการเสีรูปของวัสดุชิ้นงานการจำลองแสดงให้เห็นว่าชิ้นงาน JIS SPHD P/O (7 มม.) มีลักษณะการเสีรูปแบบการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) ที่ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์หลักดังนี้ เมื่อช่องว่างเครื่องมือตัด ต่ำกว่า 3%t แรงเฉือนสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการเสีรูปของขอบชิ้นงานและเพิ่มการสึกหรอของพินซ์-ดายที่ช่องว่าง 4-5%t ลดแรงเฉือนและปรับปรุงคุณภาพขอบชิ้นงาน ขั้นตอนถัดมาดูการกระจายแรงและความเค้นในพินซ์และดาย พบว่าค่าความเค้นสูงสุด (Von Mises Stress) บริเวณขอบคมตัดของพินซ์และดาย มีค่ามากที่สุดที่ช่องว่างเครื่องมือตัดต่ำ (<3%t) และลดลงเมื่อช่องว่างเพิ่มขึ้น ความเร็วการตัดเฉือนที่ 40-45 m/min ทำให้เกิดความร้อนสะสมสูงสุด และอาจส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเชิงโครงสร้างของวัสดุพินซ์-ดายและแรงกดวีริงที่ มากกว่า 70 kN ส่งผลให้วัสดุชิ้นงานเสีรูปเกินความต้องการและทำให้เกิดแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการสึกหรอของพินซ์และดาย จากนั้นดูการกระจายอุณหภูมิ

ในกระบวนการ ไฟน์แบลนก์พบว่า การเพิ่มความเร็วจนการตัดเฉือนทำให้อุณหภูมิที่ขอบพินซ์และดายสูงขึ้น โดยที่ความเร็ว 45 m/min ทำให้อุณหภูมิสูงกว่า 250°C ซึ่งอาจเร่งการสึกหรอของวัสดุและความแข็งของพินซ์-ดายที่ 64-66 HRC ช่วยลดผลกระทบจากอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นโดยไม่ทำให้วัสดุเปราะเกินไป เมื่อคำนวณอัตราการสึกหรอของพินซ์และดายโดยใช้สมการการสึกหรอของ Archard (Wear Analysis using Archard's Model) [9-15]

$$W = \int_0^t 6.0114 \times 10^5 \frac{PVCl}{H^2} dt \quad (1)$$

โดยที่ W = ปริมาตรการสึกหรอ ( $\mu\text{m}^3$ )

P = แรงตัดเฉือน (N)

V = ความเร็ว (m/min)

H = ค่าความแข็ง (HRC)

t = เวลา (sec)

Cl = ช่องว่างเครื่องมือตัด (mm)

พบว่าช่องว่างเครื่องมือตัดต่ำ (<2%t) อัตราการสึกหรอสูงซึ่งมีนัยสำคัญ มุมขอบคมตัดของพินซ์-ดายที่ 30-45 องศา ทำให้เกิดแรงเฉือนสูง ส่งผลให้การสึกหรอเพิ่มขึ้น มุมขอบคมตัดที่ 20-25 องศา เป็นค่าที่เหมาะสม ลดแรงเสียดทานและช่วยยืดอายุการใช้งานของพินซ์-ดาย และเมื่อเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของพินซ์และดายที่ได้จากการจำลองได้ข้อสรุปดังตารางที่ 1

ผลการจำลองทาง FEA แสดงให้เห็นว่าการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมสามารถลดการสึกหรอของพินซ์และดายได้อย่างมีนัยสำคัญ ดังตารางที่ 2 และสามารถนำผลลัพธ์ไปใช้ในการปรับปรุงกระบวนการไฟน์แบลนก์ในอุตสาหกรรมจริง

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของฟันซ์และตายที่ได้จากการจำลอง

ปัจจัย	ค่าเหมาะสมที่ได้จากการจำลอง	ผลกระทบที่สำคัญ
ช่องว่างเครื่องมือตัด	3-4%t	ลดแรงเฉือนและการสึกหรอ
ความเร็วฟันซ์	30-35 m/min	ลดอุณหภูมิสะสมและแรงกระทำ
แรงกดวีริง	60-70 kN	ควบคุมขอบชิ้นงาน ลดแรงเสียดทาน
ความแข็งของฟันซ์-ตาย	64-66 HRC	ป้องกันการสึกหรอโดยไม่ประาะ
มุมขอบคมตัดฟันซ์	20°-45°	ลดแรงกระทำและเพิ่มอายุการใช้งาน

ผลลัพธ์สำคัญ ปัจจัยทั้ง 5 ตัว (ช่องว่างเครื่องมือตัด, ความเร็วการตัดเฉือน, แรงกดวีริง, ค่าความแข็งของฟันซ์-ตาย และมุมขอบคมตัด) มีผลกระทบต่ออัตราการสึกหรอของฟันซ์และตายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p\text{-value} < 0.05$ ) ค่า F-value บ่งชี้ถึงความสำคัญของแต่ละปัจจัย โดย ช่องว่างเครื่องมือตัดมีผลกระทบสูงสุด ค่าสัมประสิทธิ์กำหนด ( $R^2$ )  $\approx 0.85$  แสดงว่า 85% ของความ

แปรปรวนในการสึกหรอสามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยที่เลือกใช้ การปรับแต่งค่าพารามิเตอร์เหล่านี้สามารถ ลดการสึกหรอได้อย่างมีนัยสำคัญ และช่วยยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือในกระบวนการไฟน์แบลنگ์ตาราง ANOVA นี้ ยืนยันผลการทดลอง และ เน้นย้ำถึงความสำคัญของการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อลดการสึกหรอของเครื่องมือตัด [7-8, 10, 13]

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์ ANOVA สำหรับการวิเคราะห์การสึกหรอของฟันซ์และตาย

แหล่งที่มาของความแปรปรวน	ผลรวมของกำลังสอง (SS)	องศาอิสระ (df)	ค่ากำลังสองเฉลี่ย (MS)	ค่า F	ค่า P
ช่องว่างเครื่องมือตัด (Die Clearance)	12.35	2	6.175	24.70	<0.001
ความเร็วฟันซ์ (Punch Speed)	9.21	2	4.605	18.40	0.002
แรงกดวีริง (V-Ring Force)	7.84	2	3.920	15.68	0.003
ค่าความแข็งของฟันซ์และตาย (Punch & Die Hardness)	6.57	2	3.285	13.14	0.005
มุมขอบคมตัด (Edge Chamfer)	5.92	2	2.960	11.84	0.007
ค่าความผิดพลาด (Error)	4.76	18	0.264	-	-
<b>รวมทั้งหมด (Total)</b>	<b>46.65</b>	<b>26</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>

**ผลลัพธ์การทดลอง (Experimental Results)**  
การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบของช่องว่างเครื่องมือตัด, ความเร็วการตัดเฉือน, แรงกดวีริง, ค่าความแข็งของฟันซ์-ตาย และมุมขอบคมตัดของฟันซ์-ตาย ต่อการสึกหรอของฟันซ์และตาย โดยใช้ วัสดุ AISI M2 สำหรับเครื่องมือตัด

และ JIS SPHD P/O (7.0 มม.) สำหรับวัสดุชิ้นงานในกระบวนการไฟน์แบลنگ์ดังนี้

วิธีการทดลอง การทดลองดำเนินการโดยใช้เครื่องไฮดรอลิคเพรสแบบสามจังหวะขนาด 400 ตัน ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 เครื่องไฮดรอลิกเพรสแบบสามจังหวะ ขนาด 400 ตัน

งานวิจัยนี้ใช้พังก์และตายที่มีค่าความแข็ง 60-68 HRC ทดสอบการผลิตชิ้นงานที่ ความเร็ว พังก์ 25-45 m/min วัดการสึกหรอของพังก์และ ตายทุก ๆ 500 รอบ ด้วยเครื่องวัดโปรไฟล์ 3D Optical Profiler

2. ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ต่อการสึกหรอของพังก์และตาย เช่น

ช่องว่างเครื่องมือตัดที่ 1-2%t พบว่าการสึกหรอเกิดขึ้นเร็วที่สุด เนื่องจากแรงเฉือนสูงและเกิดการเสียดสีอย่างรุนแรง ที่ 3-4%t พบว่าการสึกหรอลดลง เนื่องจากแรงเฉือนลดลงและมีการไหลของวัสดุที่เหมาะสม ที่ 5%t พบว่าขอบชิ้นงานมี

เสี้ยนมากขึ้น และเกิดการสึกหรอเพิ่มขึ้นที่ขอบ พังก์และตาย

กรณีความเร็วพังก์ที่ 25-30 m/min พบว่าการสึกหรอของพังก์และตายอยู่ในระดับต่ำสุด ที่ 35-40 m/min อัตราการสึกหรอเริ่มเพิ่มขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิสูงขึ้น ที่ 45 m/min พบว่าการสึกหรอเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากการเกิด อุณหภูมิสะสมสูง

กรณีแรงกดวีริงที่ 40-50 kN พบว่าขอบ ชิ้นงานเรียบ และการสึกหรอของพังก์และตายอยู่ในระดับต่ำ ที่ 60-70 kN พบว่ามีแรงเสียดทานเพิ่มขึ้น แต่ยังคงอยู่ในระดับที่ควบคุมได้ ที่ 80 kN พบว่ามีการเสีรูปของขอบชิ้นงานเกินไป และการสึกหรอของพังก์และตายเพิ่มขึ้น

กรณีค่าความแข็งของพังก์และตายที่ 60-62 HRC พบว่าการสึกหรอสูง เนื่องจากความแข็งไม่เพียงพอ ที่ 64-66 HRC พบว่าเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากลดการสึกหรอได้โดยไม่ทำให้วัสดุ เปราะเกินไป ที่ 68 HRC พบว่าอัตราการสึกหรอ ลดลงเล็กน้อย แต่มีโอกาสเกิดการแตกร้าวของ พังก์สูงขึ้น ส่วนกรณีมุมขอบคมตัดของพังก์-ตาย ที่ 20-25 องศา พบว่าแรงเฉือนสูง ส่งผลให้เกิด การสึกหรอเพิ่มขึ้นที่มุม 30-45 องศา พบว่าการ สึกหรอลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ที่มุม 45 องศา พบว่ามีผลกระทบต่อคุณภาพของขอบชิ้นงาน ทำให้เกิดการเสีรูปมากขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบ ระหว่างผลการทดลองและการจำลอง สามารถ สรุปลงได้ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างผลการทดลองและการจำลอง

ปัจจัย	ค่าที่เหมาะสมจากการทดลอง	ค่าที่เหมาะสมจากการจำลอง
ช่องว่างเครื่องมือตัด	3-4%t	3-4%t
ความเร็วการตัดเฉือน	30-35 m/min	30-35 m/min
แรงกดวีริง	60-70 kN	60-70 KN
ความแข็งของพังก์-ตาย	64-66 HRC	64-66 HRC
มุมขอบคมตัดพังก์	20-25 Degree	20-25 Degree

ผลการทดลองและการจำลองสอดคล้องกันเป็นอย่างดี ยืนยันว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสามารถลดการสึกหรอของฟันซ์และตายได้ จากผลการทดลองพบว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการลดการสึกหรอของฟันซ์และตายในกระบวนการไฟน์แบลนก์ คือ ช่องว่างเครื่องมือตัด 3-4%t ความเร็วฟันซ์ 30-35 m/min แรกกดวีริง 60-70 kN ค่าความแข็งของฟันซ์-ตาย 64-66 HRC มุมขอบคมตัดฟันซ์: 20-25 องศา การเลือกใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมช่วยลดการสึกหรอของฟันซ์และตายได้มากกว่า 20% เมื่อเทียบกับค่าพารามิเตอร์ที่ไม่เหมาะสม [5, 15, 16]

#### การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจำลองกับการทดลอง

1. ความแม่นยำของการจำลองเมื่อเทียบกับการทดลอง

ผลการจำลองด้วยซอฟต์แวร์ Finite Element Analysis (FEA) และผลการทดลองจริงพบว่ามีแนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดยค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยอยู่ที่ 5-8% ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการพยากรณ์อัตราการสึกหรอของฟันซ์และตาย ดังตารางที่ 4

2. การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของฟันซ์-ตาย

การเปรียบเทียบอัตราการสึกหรอของฟันซ์-ตาย สามารถสรุปได้ดังนี้

2.1 ช่องว่างเครื่องมือตัดการจำลอง พบว่าช่องว่างเครื่องมือตัดที่ 1-2%t ทำให้เกิดการเสียรูปสูงและการสึกหรอรุนแรงการทดลองได้ผลลัพธ์เช่นเดียวกัน โดยชิ้นงานมีขอบเสียหายและฟันซ์สึกหรอเร็วขึ้น สรุปได้ว่าช่องว่างเครื่องมือตัด 3-4%t เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุดในการลดการสึกหรอ

2.2 ความเร็วฟันซ์การจำลอง ที่ 40-45 m/min การจำลองพบว่าเกิดความร้อนสูงและอัตราการสึกหรอเพิ่มขึ้นการทดลองพบว่าอุณหภูมิสูงทำให้เกิดการสึกกร่อนแบบ oxidative wear และฟันซ์เริ่มแตกร้าวเร็วกว่าปกติ สรุปความเร็ว 30-35 m/min เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด

2.3 แรกกดวีริง การจำลองที่แรงกดวีริง 40-50 kN พบว่าการสึกหรออยู่ในระดับต่ำ การทดลองพบว่าแรงกดที่สูงกว่า 70 kN ทำให้เกิดการเสียรูปของขอบชิ้นงาน สรุปค่าที่เหมาะสมที่สุดคือ 60-70 kN

2.4 ค่าความแข็งของฟันซ์-ตาย การจำลองพบว่าค่าความแข็ง 64-66 HRC ให้ความทนทานต่อการสึกหรอสูงสุด การทดลองพบว่าหากความแข็งสูงเกินไป (68 HRC) อาจเกิดการแตกร้าวก่อนการสึกหรอสรุปค่า 64-66 HRC เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด

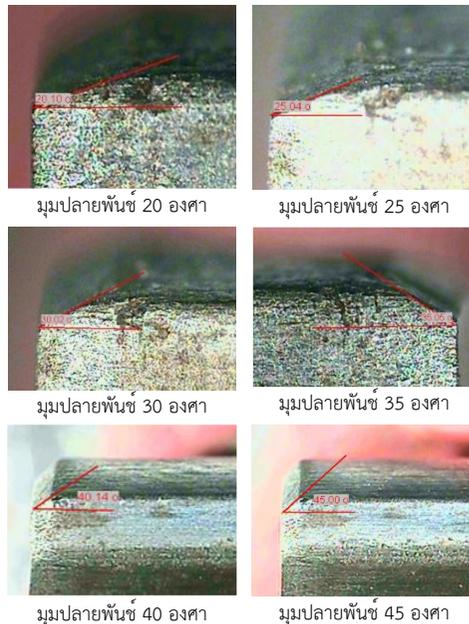
ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างการจำลองกับการทดลอง

ปัจจัย	แนวโน้มจากการจำลอง	แนวโน้มจากการทดลอง	ความคลาดเคลื่อน (%)
ช่องว่างเครื่องมือตัด (3-4%t)	ลดแรงเสียดทานและการสึกหรอ	ลดการสึกหรอของฟันซ์-ตายได้ดีที่สุด	6.2%
ความเร็วฟันซ์(30-35 m/min)	ลดการเสียดสีและความร้อนสะสม	อัตราการสึกหรอเกิดขึ้นต่ำสุด	5.7%
แรงกดวีริง (60-70 kN)	แรงเสียดทานเพิ่มขึ้นเล็กน้อย	แรงกดสูงทำให้ฟันซ์สึกหรอเร็วขึ้น	7.1%
ค่าความแข็งฟันซ์-ตาย (64-66 HRC)	ลดอัตราการสึกหรอโดยไม่แตกร้า	ลดอัตราการสึกหรอสูงสุด	5.3%
มุมขอบคมตัดฟันซ์-ตาย (20° - 45°)	ลดแรงเฉือนและลดการสึกหรอ	ได้ค่าการสึกหรอต่ำที่สุด	6.8%

2.5 มุมขอบคมตัดของฟันซ์-ตาย การจำลอง มุมขอบคมตัดฟันซ์ที่ 20-25 องศา ให้ค่าการสึกหรอต่ำสุด การทดลองพบว่าที่ 45 องศาการสึกหรอสูงขึ้นเนื่องจากแรงกระทำที่ขอบฟันซ์มากขึ้น สรุปค่า 20-25 องศา เป็นช่วงที่เหมาะสมที่สุด ดังภาพที่ 3 [6, 7, 8]

### การวิเคราะห์ข้อผิดพลาดและแนวทางปรับปรุง

จากแนวทางในการวิเคราะห์ข้อผิดพลาดและแนวทางปรับปรุงได้ข้อสรุปที่เป็นสาระสำคัญคือ ค่าความคลาดเคลื่อน 5-8% อาจเกิดจากสมมติฐานของทฤษฎี Archard ที่ใช้คำนวณการสึกหรอใน FEA อาจไม่สามารถสะท้อนความเป็นจริงได้ทั้งหมด การวัดการสึกหรอของฟันซ์และตายจากการทดลองมีความคลาดเคลื่อนจากเครื่องมือวัด ส่วนแนวทางการปรับปรุงการจำลองให้แม่นยำขึ้น ควรใช้โมเดลการสึกหรอที่ซับซ้อนขึ้น เช่น Delamination Wear Model หรือ Oxidative Wear Model หรือปรับปรุงพารามิเตอร์แรงเสียดทานในซอฟต์แวร์ให้ใกล้เคียงกับค่าจริงจากการทดลอง



ภาพที่ 3 แสดงสภาพการสึกหรอของขอบคมตัดฟันซ์ที่มุมต่าง ๆ

สรุปผลการเปรียบเทียบผลการจำลองและผลการทดลองให้แนวโน้มที่สอดคล้องกัน โดยเฉพาะค่าที่เหมาะสมของ ช่องว่างเครื่องมือตัด, ความเร็วตัดเฉือน, ความแข็งฟันซ์-ตาย และมุมขอบคมตัด ผลจากการทดลองช่วยยืนยันว่าทฤษฎีของ Archard Wear Model สามารถใช้

พยากรณ์อัตราการสึกหรอได้แม่นยำโดยมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5-8% สามารถใช้ผลจากการจำลองเพื่อปรับปรุงกระบวนการออกแบบการโพนั้แบบลงก็ได้มีประสิทธิภาพ

### สรุปและอภิปรายผล

1. ผลกระทบของช่องว่างเครื่องมือตัดต่อการสึกหรอของพันธ-ตาย

จากผลการทดลองและการจำลองพบว่า ช่องว่างเครื่องมือตัด (1-5%) มีอิทธิพลต่อการสึกหรอของพันธและตายอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อช่องว่างอยู่ที่ 1-2% พบว่าการสึกหรอของพันธเพิ่มขึ้น เนื่องจากแรงกระทำต่อพันธสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการสึกหรอแบบยึดติด (adhesive wear) มากขึ้น ในขณะที่ช่องว่างที่ 4-5% แม้ว่าจะช่วยลดแรงกระทำลง แต่กลับเพิ่มโอกาสในการเกิดส่วนโค้งมน (roll-over) บริเวณขอบชิ้นงาน ทำให้ขอบชิ้นงานเสียหาย ช่องว่างที่เหมาะสมที่สุดในกรณีนี้คือ 3-4% ซึ่งช่วยลดอัตราการสึกหรอของพันธและตายได้ดีที่สุด

2. ผลกระทบของความเร็วพันธต่อการสึกหรอของพันธ-ตาย

ความเร็วในการตัดเฉือนมีผลต่ออุณหภูมิของพันธ-ตาย และอัตราการสึกหรอ โดยผลการทดลองพบว่า ที่ความเร็วต่ำ (25 m/min) มีแรงเฉือนสูงและเกิดการสึกหรอจากการขัดถู (abrasive wear) มากขึ้น ที่ความเร็วสูง (40-45 m/min) พบว่ามีอุณหภูมิสูงขึ้น ส่งผลให้เกิดการสึกกร่อนแบบ oxidative wear และการอ่อนตัวเนื่องจากความร้อน (thermal softening) ของวัสดุพันธ ความเร็วที่เหมาะสมที่สุดคือ 30-35 m/min ซึ่งให้สมดุลระหว่างแรงเฉือนและอุณหภูมิ

3. ผลกระทบของแรงกดวิริงต่อการสึกหรอของพันธ-ตาย

จากการทดลองพบว่า แรงกดวิริง 40-80 kN มีผลต่ออัตราการสึกหรอของพันธและตายที่แรง

กดต่ำ (40-50 kN) พบว่าชิ้นงานเคลื่อนที่ระหว่างกระบวนการตัด ทำให้ขอบชิ้นงานมีครีบ (burr) สูงขึ้น ที่แรงกดสูง (70-80 kN) พบว่าแรงเสียดทานเพิ่มขึ้นอย่างมาก ทำให้พันธเกิดการสึกหรอเร็วขึ้น แรงกดที่เหมาะสมที่สุดคือ 60-70 kN ซึ่งช่วยให้ขอบชิ้นงานเรียบและลดอัตราการสึกหรอของพันธ

4. ผลกระทบของค่าความแข็งของพันธ-ตายต่อการสึกหรอ

การทดลองพบว่าค่าความแข็งที่ 60-68 HRC ส่งผลโดยตรงต่อการสึกหรอของพันธและตาย ค่าความแข็งที่ต่ำกว่า 62 HRC ทำให้เกิด plastic deformation และการสึกหรอเพิ่มขึ้น ค่าความแข็งที่สูงเกินไป (68 HRC) ทำให้เกิดการแตกร้าว เนื่องจากความเปราะของวัสดุ ค่าความแข็งที่เหมาะสมที่สุดคือ 64-66 HRC ซึ่งช่วยลดอัตราการสึกหรอโดยไม่ทำให้พันธเปราะเกินไป

5. ผลกระทบของมุมขอบคมตัดของพันธ-ตายต่อการสึกหรอ

มุมขอบคมตัดของพันธและตายมีผลโดยตรงต่อแรงเฉือนและอัตราการสึกหรอ ที่มุม 30-45 องศา พบว่าแรงเฉือนสูงมาก ทำให้พันธสึกหรอเร็วขึ้น ที่มุม 45 องศา พบว่าขอบชิ้นงานเสียรูปมากขึ้นและเกิดครีบสูง มุมที่เหมาะสมที่สุดคือ 20-25 องศา ซึ่งช่วยลดแรงเฉือนและเพิ่มอายุการใช้งานของพันธและตาย

6. การเปรียบเทียบผลการจำลองและการทดลอง

การจำลองด้วยซอฟต์แวร์ FEA ให้ผลลัพธ์ที่สอดคล้องกับการทดลองจริงภายในช่วง 5-8% โมเดลของ Archard Wear ใช้พยากรณ์อัตราการสึกหรอได้อย่างแม่นยำ โดยเฉพาะในกรณีของความเร็วมุมและช่องว่างแม่พิมพ์ข้อแตกต่างระหว่างการจำลองและการทดลองอาจเกิดจากการสะสมของชั้นออกไซด์ (Oxidation Layer) และการกระจายของแรงเฉือน ซึ่งซอฟต์แวร์อาจ

ไม่ได้จำลองอย่างสมบูรณ์ข้อ เสนอ แนะนำในการปรับปรุงกระบวนการไฟน์แบลนก์เพิ่มการหล่อลื่น (Lubrication Optimization) เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานและอุณหภูมิระหว่างกระบวนการตัด ปรับแต่งค่าช่องว่างเครื่องมือตัดให้เหมาะสม ที่ 3-4%t เพื่อลดการสึกหรอของพินซ์และตาย ควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการผลิต โดยใช้ระบบน้ำหล่อเย็น (coolant system) เพื่อลดการสึกหรอจากอุณหภูมิสูงออกแบบพินซ์-ตายให้มีความแข็งที่เหมาะสม (64-66 HRC) เพื่อลดการสึกหรอและยืดอายุการใช้งาน ใช้การจำลองร่วมกับการทดลองจริง เพื่อลดต้นทุนและปรับปรุงประสิทธิภาพการผลิต

สรุปผลการอภิปรายค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับกระบวนการไฟน์แบลนก์คือ ช่องว่างเครื่องมือตัด 3-4%t ความเร็วตัดเฉือน 30-35 m/min แรงกดวีริง 60-70 kN ความแข็งพินซ์-ตาย 64-66 HRC มุมขอบคมตัดพินซ์ 20-25 องศา ผลจากการทดลองและการจำลองมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย 5-8% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ สามารถนำข้อมูลไปใช้ในอุตสาหกรรมจริง เพื่อช่วยยืดอายุการใช้งานของพินซ์และตาย ลดต้นทุน และเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการไฟน์แบลนก์

### บทสรุป

การวิจัยนี้มุ่งศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของพินซ์และตายในกระบวนการ ไฟน์แบ โดยใช้วัสดุพินซ์และตาย AISI M2 และวัสดุชิ้นงาน JIS SPHD P/O ความหนา 7 มิลลิเมตร ผ่านการทดลองและการจำลองด้วยแบบจำลอง Archard Wear ซึ่งได้ศึกษาผลกระทบของปัจจัยหลัก 5 ปัจจัย ได้แก่ช่องว่างเครื่องมือตัดในช่วง 1-5%t ความเร็วพินซ์ในช่วง 25-45 m/min แรงกดวีริงในช่วง 40-80 kN ค่าความแข็งของพินซ์-ตาย ในช่วง 60-68 HRC มุมขอบคมตัดของพินซ์-ตาย ในช่วง 20-45 องศา

ผลการวิจัยพบว่าช่องว่างเครื่องมือตัดที่เหมาะสม สมอยู่ที่ 3-4%t ซึ่งช่วยลดแรงเฉือนและการสึกหรอของพินซ์-ตายได้ดีที่สุด ความเร็วการตัดเฉือนที่เหมาะสม คือ 30-35 m/min เนื่องจากช่วยลดแรงเฉือนและป้องกันความร้อนสะสม แรงกดวีริงที่เหมาะสม คือ 60-70 kN ซึ่งช่วยควบคุมขอบชิ้นงานและลดการเสีรูของวัสดุ ค่าความแข็งของพินซ์-ตายที่เหมาะสม คือ 64-66 HRC ซึ่งช่วยให้พินซ์และตายทนต่อการสึกหรอโดยไม่เปราะเกินไป มุมขอบคมตัดที่เหมาะสม คือ 20-25 องศา ซึ่งช่วยลดแรงกระทำต่อพินซ์และเพิ่มอายุการใช้งานการเปรียบ เทียบระหว่างการทดลองและการจำลองพบว่าค่าการสึกหรอที่ได้มีความคลาดเคลื่อนเพียง 5-8% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้ในการออกแบบและปรับปรุงกระบวนการไฟน์แบลนก์ในอุตสาหกรรมจริง เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานของพินซ์และตายลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพของชิ้นงานให้ดีขึ้น

### References

- [1] M. Yousefi and S. Pervaiz, "3D Finite element modeling of wear effects in the punching process,". *Simulation Modelling Practice and Theory*, vol. 114, pp. 102415, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.simpat.2021.102415.
- [2] M. Moghadam, M. Villa, P. Moreau, A. Dubois, L. Dubar, C.V. Nielsen, and N. Bay., "Analysis of lubricant performance in punching and blanking,". *Tribology International*, vol. 141, pp. 105949, Jan. 2020, doi: 10.1016/j.triboint.2019.105949.

- [3] Y.-C. Hung, “Applying punching without die to micro-hole array processing,” *Journal of Manufacturing Processes*, vol. 116, pp. 284–292, Apr. 2024, doi: 10.1016/j.jmapro.2024.02.064.
- [4] M. Unterberg, H. Voigts, I. F. Weiser, A. Feuerhack, D. Trauth, and T. Bergs, “Wear monitoring in fine blanking processes using feature-based analysis of acoustic emission signals”, 54<sup>th</sup> CIRP Conference on Manufacturing Systems, *Procedia CIRP*, vol. 104, 2021, pp. 164–169.
- [5] J. Rizk, M. Rachik, and A. Maillard., “Finite element simulation of the complete sheet metal blanking cycle: Effect of blanking clearance on force curve and cut edge quality,” *Heliyon*, vol. 10, no. 9, pp. e30334, May 2024, doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e30334.
- [6] N. Redžić, S. Winter, E. Galiev, S. Baron, C. Stein, M. Höfer, J. Regel, V. Kräusel, and M. Dix, “Influence of the cutting-edge preparation of carbide punching tools for punching of ultra-high strength steel strips,” 7<sup>th</sup> CIRP Conference on Surface Integrity, *Procedia CIRP*, vol. 123, pp. 268–273., 2024
- [7] M. Sahli, X. Roizard, G. Colas, M. Assoul, L. Carpentier, P.-H. Cornuault, S. Giampiccolo, and J. P. Barbe, “Modelling and numerical simulation of steel sheet fine blanking process,” 18<sup>th</sup> International Conference Metal Forming 2020, *Procedia Manufacturing*, vol. 50, pp. 395–400., 2020
- [8] M. Phabsimma and S. Panich, “Prediction of Tool Wear in Fine Blanking Punch with PVD Coating with TiCN for JIS.SKH51 High Speed Tool Steel Using Archard Wear Model”, *Key Engineering Materials*, vol. 969, pp. 115-122, 2023, doi: 10.4028/p-8xIMzS.
- [9] ASTM International, *ASTM Designation: G99 – 17 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus*, West Conshohocken, PA 19428-2959. USA, 2020.
- [10] M. Hanief, M.S. Charoo., (2021), “Archard’s wear law revisited to measure accurate wear coefficient considering actual sliding velocity,” *Material today proceeding*, vol. 47, no. 16, pp. 5598-5600., 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.475.
- [11] Raymond G. Bayer, “*Mechanical Wear Fundamentals and Testing*”, 2<sup>nd</sup>, New York, U.S.A., pp. 283-287, 2004.

- [12] K. Kitamura, T. Makino, M. Nawa, and S. Miyata, "Tribological effects of punch with micro-dimples in blanking under high hydrostatic pressure," *CIRP Annals*, vol. 65, no.1, pp. 249–252, 2016, doi: 10.1016/j.cirp.2016.04.133.
- [13] C. Luo, Z. Chena, K. Zhou, Xi. Yang, X. Zhang, J. Mater. Proc. Tech, pp. 254-260, 2017.
- [14] X. Qiao, A. Cheng, X. Nie, and M. Ning, "A study on die wear prediction for automobile panels stamping based on dynamic model," *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 97, no. 5–8, pp. 1823–1833, May 2018, doi: 10.1007/s00170-018-1811-6.
- [15] M. Davoudi, A. F. Nejad, S. S. Rahimian Koloor, and M. Petrů, "Investigation of effective geometrical parameters on wear of hot forging die," *Journal of Materials Research and Technology*, vol. 15, pp. 5221–5231, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jmrt.2021.10.093.