

Received: Dec 22, 2020

Revised: Feb 12, 2021

Accepted: Mar 10, 2021

การศึกษาความสามารถในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อน ที่สึกหรอเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่

STUDYING ABILITY OF MILLING WORN SURFACE OF HOT FORGING DIE FOR RECYCLING

กมลพงศ์ แจ่มกมล¹ศุภวัฒน์ ชูวารี²^{1,2}ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพKamonpong Jamkamon¹ and Suppawat Chuwaree²^{1,2}Department of mechanical and industrial engineering, Faculty of engineering,
Rajamangala university of technology krungthepE-mail: ¹kamonpong.j@mail.rmutk.ac.th, ²suppawat.c@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสามารถในการปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อนที่สึกหรอจากการใช้งานภายใต้ของต้นทุนที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิว (Re-sink die) โดยจะเปรียบเทียบกับวิธีการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die) ทั้งนี้ต้นทุนในการแปรรูปจะคำนึงถึงเวลาที่ใช้ในการกัดและจำนวนเครื่องมือตัดที่ใช้ จากการทดลองโดยใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยพบว่า ระยะเวลาที่สึกหรอสูงสุดอยู่ที่ 3.985 มม. และจากการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตเข้ามาวิเคราะห์ พบว่า ระยะเวลาที่ต้องขจัดออกและเวลาที่ใช้ในกระบวนการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ต่ำกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่อยู่ 56.33 และ 24.36% ตามลำดับ อย่างไรก็ตามการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอทำให้อายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัดลดลงเป็นเหตุให้ต้นทุนในส่วนของเครื่องมือคมตัดเพิ่มสูงขึ้น 36.26% ทั้งนี้ต้นทุนรวมในการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่อยู่ที่ 10,450 บาท ในขณะที่ต้นทุนรวมในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์อยู่ที่ 10,670 บาท ซึ่งสรุปได้ว่าต้นทุนโดยรวมในการกัดแม่พิมพ์แตกต่างกันอยู่เพียง 2.03% โดยไม่คำนึงถึงต้นทุนของค่าวัสดุชิ้นงานและการปรับปรุงสมบัติทางกลด้วยความร้อนที่ต้องใช้ในกรณีของการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่

คำสำคัญ: แม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อน การกัดปรับพื้นผิวแม่พิมพ์ คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต ต้นทุน

Abstract

Most of the operators in the PVC pipe packing process in the THAI PIPE INDUSTRY CO.,LTD. company had chronic injury of their hands, wrists, arms and shoulder as a consequence of improper movement. This research aimed to improve the movement of operators based on ergonomics principle in order to reduce risks resulting to the injuries. Ergonomics posture evaluation Rapid Upper Limb Assessment; RULA and Rapid Entire Body Assessment; REBA were applied to analyst the risk factors of the operator's activities. It was found that the risk resulting to injury by Rapid Upper Limb Assessment; RULA is equal 3.90 and Rapid Entire Body Assessment; REBA is equal 4.95 which meant ergonomics issues should immediately be solved. The new PVC packing machine and working method by ergonomics consideration were implemented to the process. The result of this project after improved work posture, evaluation index by Rapid Upper Limb Assessment was 2.64 and Rapid Entire Body Assessment was 3.53

Keywords: Hot forging die, Re-sink die, CAM, Machining cost

บทนำ

แม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อน (Hot forging die) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับการผลิตชิ้นงาน ซึ่งในกระบวนการผลิตชิ้นงานจะถูกทำให้ร้อนตัวด้วยความร้อนและเปลี่ยนรูปด้วยการใช้แรงกดเพื่อสร้างวัสดุชิ้นงานให้มีรูปร่างและลักษณะเหมือนกับแม่แบบ การขึ้นรูปชิ้นงานด้วยการตีนิยมใช้สำหรับการสร้างชิ้นส่วนเครื่องจักรกลที่อยู่ภายใต้ภาระการรับแรงที่สูง เช่น ลูกสูบ และเพลาคอเหวี่ยง ทั้งนี้เหล็กกล้าเกรด JIS SKD 61 เป็นที่นิยมใช้สำหรับสร้างแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อนเนื่องจากสามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางกลและความสามารถในการต้านทานการสึกหรอด้วยกระบวนการทางความร้อน อย่างไรก็ตามการสึกหรอบนพื้นผิวแม่พิมพ์เนื่องจากการใช้งานก็ยังคงไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้อย่างสมบูรณ์ (Gronostajski et al., 2016) ทั้งนี้การสึกหรอที่เกิดขึ้นจะส่งผลโดยตรงต่อขนาดและคุณภาพของชิ้นงาน ดังนั้นเพื่อเป็นการคืนค่าความถูกต้องของขนาดชิ้นงานโดยทั่วไปแล้วแม่พิมพ์ใหม่จะถูกนำเข้ามาติดตั้งและแม่พิมพ์ที่สึกหรอที่ถูกถอดออกจะกลายเป็นของเสียที่เกิดขึ้นในระบบการผลิต

การสึกหรอของแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อนขณะใช้งานมีตัวแปรที่สำคัญ ได้แก่ สมบัติของวัสดุแม่พิมพ์ การออกแบบแม่พิมพ์และการผลิต ตลอดจนการปรับปรุงคุณสมบัติทางความร้อน และพารามิเตอร์ในการตีขึ้นรูป (Nuray, 2018) กลไกที่ทำให้เกิดการสึกหรอบนผิวของแม่พิมพ์ประกอบด้วย ความล้าจากความร้อน (Thermal fatigue) ความล้าทางกล (Mechanical fatigue) และการเสียดสีระหว่างชิ้นงานกับผิวแม่พิมพ์ (Abrasive) (Chander and Chawla, 2017) การนำเทคโนโลยีการเพิ่มเนื้อโลหะ (Additive layer manufacturing: ALM) โดยการใช้ลำแสงเลเซอร์สำหรับการเคลือบผิวงานเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับผิวแม่พิมพ์ เป็นหนึ่งในนวัตกรรมที่ได้รับความนิยม [Foster et al., 2019] ถึงแม้วิธีที่กล่าวมาข้างต้นจะช่วยป้องกันการสึกหรอและยืดอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ แต่ก็ไม่สามารถหลีกเลี่ยงการเกิดรอยแตกร้าว (Cracking) (Hawryluk, 2016) บนพื้นผิวแม่พิมพ์ซึ่งในทางปฏิบัติมักจะซ่อมแซมโดยการเชื่อมซ่อมผิว (Welding repair) การขัดผิวและเคลือบผิวใหม่ รวมทั้งการพ่นพอกผิวด้วยความร้อน (Thermal metal spraying) หรือกระบวนการกัดขึ้นรูปใหม่ (Buchmayr, 2017)

การนำเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (Computer added manufacturing, CAM) ร่วมกับเทคโนโลยีเครื่องมือกลอัตโนมัติ (Sortino et al, 2014) ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะทำการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอ (Re-sink die) เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) ซึ่งจะช่วยให้สามารถลดของเสียและค่าใช้จ่ายในการผลิตเมื่อเทียบกับการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New-die) เนื่องจากขั้นตอนในการผลิตลดลงเพราะไม่ต้องจัดหาวัสดุชิ้นงานใหม่และไม่จำเป็นต้องปรับปรุงสมบัติทางกล อย่างไรก็ตามการกัดวัสดุแม่พิมพ์ที่สึกหรอเป็นการตัดเฉือนวัสดุชิ้นงานที่มีความแข็งแรงสูงทำให้ความสามารถในการแปรรูปของวัสดุลดลง และในปัจจุบันนี้มีข้อมูลงานวิจัยน้อยมากที่บ่งชี้ถึงความเป็นไปได้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์และความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอจากการใช้งานโดยคำนึงถึงต้นทุนที่ใช้ในการกัดจากค่าเครื่องมือคมตัดและค่าเครื่องจักรตลอดจนค่าแรงที่ใช้

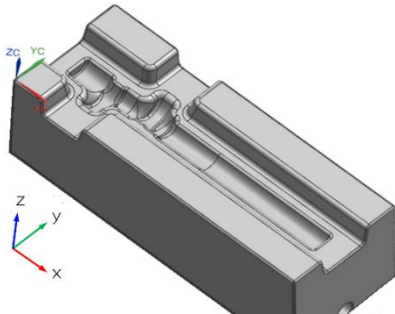
ระเบียบการวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการทดลองเพื่อกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อนที่สึกหรอเนื่องจากการใช้งาน โดยในขั้นตอนของการวิจัยเริ่มจากการศึกษาความลึกของการสึกหรอเพื่อกำหนดระดับความลึกในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ จากนั้นใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตเพื่อสร้างแนวการเคลื่อนที่ของเครื่องมือคมตัด และทดลองกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์เพื่อศึกษาความสามารถในการแปรรูปของวัสดุชิ้นงานจากอายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัด และในท้ายที่สุดจะทำการวิเคราะห์ต้นทุนที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอเพื่อเปรียบเทียบกับ การกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่

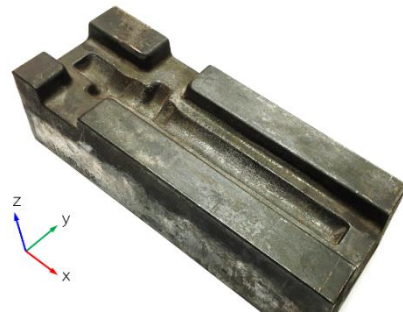
1.1 การตรวจสอบความลึกของการสึกหรอบนพื้นผิวแม่พิมพ์

ภาพที่ 1 ก) แสดงแบบงานของแม่พิมพ์ตีขึ้นรูปร้อน และภาพที่ 1 ข) แสดงลักษณะพื้นผิวแม่พิมพ์ที่ใช้ในการตีขึ้นรูปเพลาคอเหวี่ยงที่เกิดการสึกหรอจากการใช้งาน เนื่องจากลักษณะแม่พิมพ์มีรูปร่างซับซ้อนทำให้ยากต่อการตรวจสอบความลึกของการสึกหรอด้วยกระบวนการวัดทางตรง ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยโดยใช้เครื่องเลเซอร์สแกน ยี่ห้อ Creaform, รุ่น HandySCAN 700 มาใช้ในการสแกนพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอและสร้างพื้นผิวแม่พิมพ์ที่ได้จากการสแกนด้วยโปรแกรม VXelements ดังแสดงในภาพที่ 1 ค) จากนั้นนำพื้นผิวที่ได้จากการสแกนไป

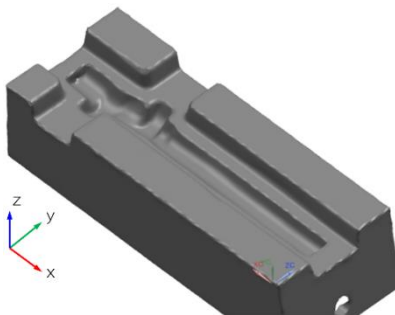
เปรียบเทียบกับแบบงานโดยใช้โปรแกรม Geomagic Control X ซึ่งทำให้ทราบถึงความแตกต่างของพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอ กับแบบงานโดยบังบอกลงเป็นเฉดสีดังภาพที่ 1 ง)



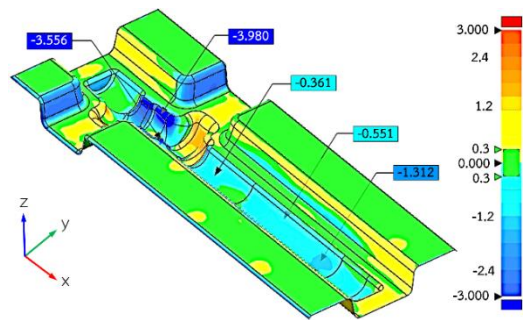
ก) แบบงาน (Model) ของแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปร้อน



ข) รูปถ่ายพื้นผิวของแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปร้อนที่สึกหรอ



ค) พื้นผิวแม่พิมพ์ที่ได้จากการเลเซอร์สแกนด้วยเลเซอร์ ึ่ง) เฉดสีแสดงความแตกต่างของแม่พิมพ์ที่สึกหรอ กับแบบงาน ภาพที่ 1 การตรวจสอบความสึกของการสึกหรอบนพื้นผิวแม่พิมพ์โดยใช้เทคนิคทางด้านวิศวกรรมย้อนรอย

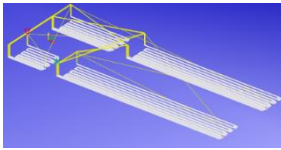
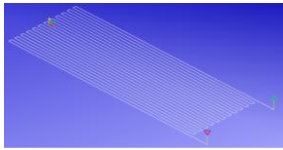
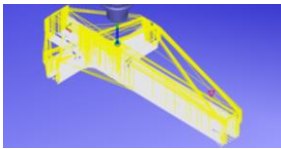
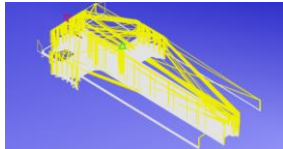
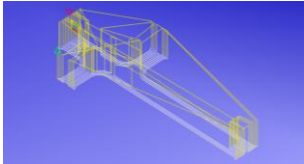
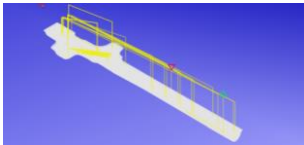
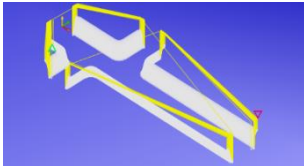
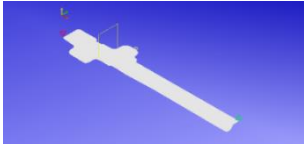


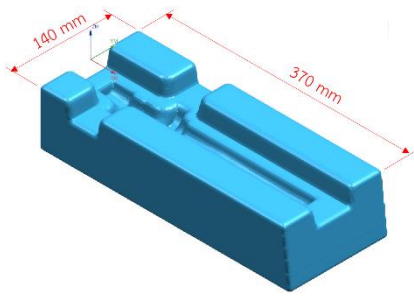
เฉดสีแดงหมายถึงพื้นผิวแม่พิมพ์สูงกว่าแบบงานซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากการเสียรูปของแม่พิมพ์เนื่องจากภาระแรงที่ใช้ในการตีขึ้นรูปทำให้เกิดการโก่งของแม่พิมพ์ และอาจเกิดจากการสะสมของสารมลทินที่เกิดจากออกไซด์และสารหล่อลื่นที่ใช้ในกระบวนการตีขึ้นรูป ในส่วนของเฉดสีน้ำเงินหมายถึงการสึกหรอที่สึกลงในเนื้อของแม่พิมพ์ซึ่งเกิดจากการใช้งาน ทั้งนี้ ตำแหน่งของพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอสูงสุดอยู่ในบริเวณเข้าของแม่พิมพ์ที่ในส่วนที่เป็นลูกเบี้ยว โดยจากการตรวจสอบขนาดทางด้านมิติ พบว่า ระยะการสึกหรอสูงสุดอยู่ที่ 3.98 มม. ดังนั้นเพื่อให้มั่นใจได้ว่าพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอถูกขจัดอย่างสมบูรณ์ทางคณะผู้วิจัยได้กำหนดระดับความลึกของการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์อยู่ที่ 4.5 มม. ในขณะที่การกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ จะทำการเพื่อเปิดผิวลึก 0.3 มม.

1.2 การใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิต (CAM)

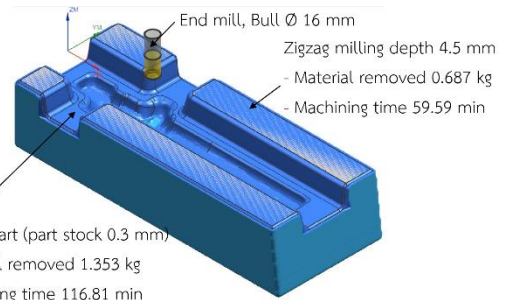
คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตที่ใช้สำหรับการสร้างคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของเครื่องมือคมตัด และวิเคราะห์น้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออกตลอดจนเวลาที่ใช้ในการกัดเป็นโปรแกรม NX version 12 การกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ใช้เครื่องมือคมตัดและควบคุมการตัดเฉือนภายใต้เงื่อนไขดังแสดงในตารางที่ 1 กระบวนการกัดประกอบด้วย การกัดแบบหยาบ (Rough milling) จะใช้ดอกกัดเป็นแบบเม็ดมีดขอบโค้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเมื่อประกอบเข้ากับด้ามมีด 16 มม. (Bull \varnothing 16 mm) ในส่วนของการกัดกึ่งสำเร็จ (Semi-finishing milling) และการกัดสำเร็จ (Finish milling) เป็นดอกกัดบ่าจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (Flat \varnothing 6 mm) และดอกกัดรัศมี 3 มม. (Ball R 3 mm) โดยการจำลองเนื้องานที่ต้องทำการขจัดออกสำหรับแต่ละเครื่องมือคมตัดในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์แสดงในรูปที่ 2 และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่แสดงดังภาพที่ 3

ตารางที่ 1 พารามิเตอร์ในการตัดเฉือนและเงื่อนไขในการสร้างแนวทางการเดินของเครื่องมือคมตัด (Tool path)

เครื่องมือคมตัด	เงื่อนไขการตัดเฉือน	รูปแสดงแนวทางการเดินของเครื่องมือคมตัด (Tool path)	
		กััดปรับสภาพพื้นผิว (Re-sink die) ลีท 4.5 มม.	กััดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die)
1. End mill, Bull Ø16 mm, (2 tooth)	Cutting pattern; Zigzag (Face milling), ADoC (Constant) = 0.3 mm, RDoC (Max, Stepover) = 50% (Max≈6 mm), N = 3500 rev/min, F = 1600 mm/min, (Part stock 0.0 mm)		
	Cutting pattern; Follow part (Rough milling), ADoC (Constant) = 0.3 mm, RDoC (Max, Step over) = 50%, N = 3500 rev/min, F = 1600 mm/min, (Part stock 0.3 mm)		
2. End mill, Flat Ø 6 mm, (4 tooth)	Cutting pattern; Follow Part (Face Milling), Floor Bank thickness 3 mm, RDoC (Max, Step over) = 50%, N = 3000 rev/min, F = 800 mm/min, (Part stock 0.0 mm)		
	Cutting pattern; Follow Part (Semi-finish Milling), ADoC = 0.3 mm, RDoC (Max, Step over) = 50%, N = 3000 rev/min, F = 800 mm/min, (Part stock 0.2 mm)		
3. End mill, Ball R 3 mm, (2 tooth)	Cutting pattern; Zlevel Profile, ADoC = 0.3 mm, Merge distance 3.0 mm, Minimum cut length 1.0 mm, N = 3900 rev/min, F = 1200 mm/min, (Part stock 0.0 mm)		
	Cutting pattern; Contour area – Area milling (Semi-finish milling), RDoC (Step over - Constance) = 0.3 mm, N = 3900 rev/min, F = 1200 mm/min, (Part stock 0.0 mm)		

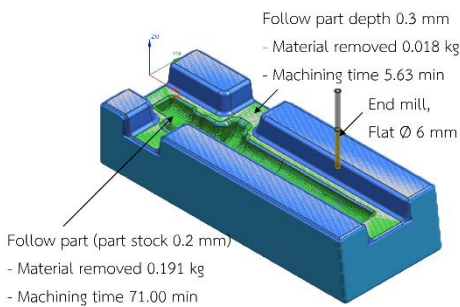


ก) แบบงานวัสดุขึ้นงานก่อนการกัดปรับสภาพพื้นผิว

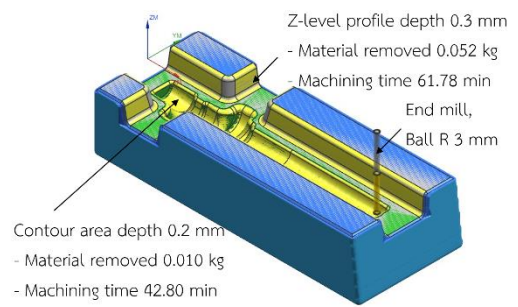


Follow part (part stock 0.3 mm)
- Material removed 1.353 kg
- Machining time 116.81 min

ข) การกัดหยาบด้วยดอกกัดขอบโค้งขนาด \varnothing 16 มม.

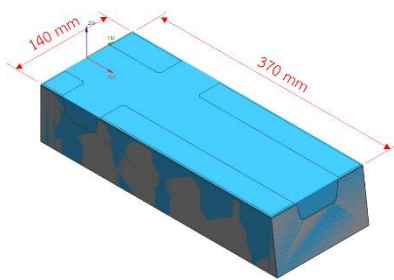


Follow part (part stock 0.2 mm)
- Material removed 0.191 kg
- Machining time 71.00 min

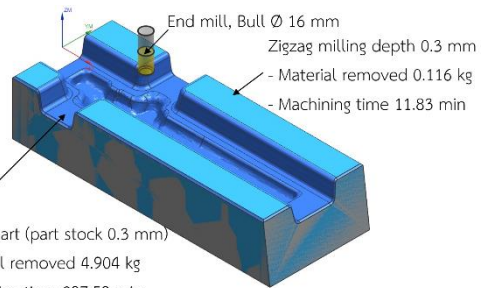


Contour area depth 0.2 mm
- Material removed 0.010 kg
- Machining time 42.80 min

ค) การกัดทิ้งสำเร็จและสำเร็จด้วยดอกกัดขนาด \varnothing 6 มม. ง) การกัดสำเร็จด้วยดอกกัดรัศมี R 3 มม.
ภาพที่ 2 แบบจำลองที่สร้างโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตสำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ (Re-sink die)

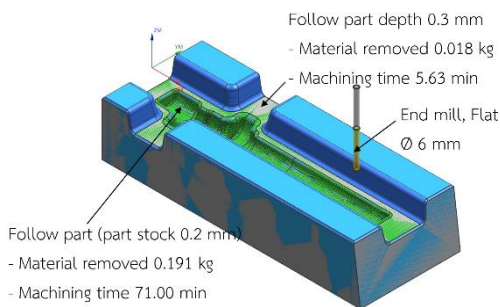


ก) แบบงานวัสดุขึ้นงานก่อนการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่

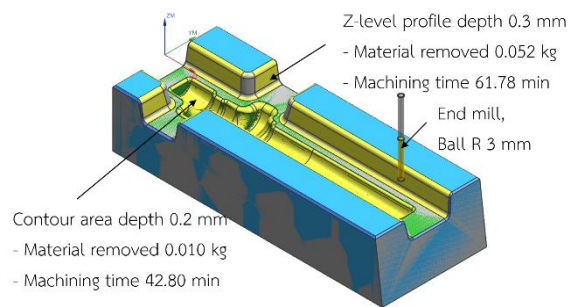


Follow part (part stock 0.3 mm)
- Material removed 4.904 kg
- Machining time 297.59 min

ข) การกัดหยาบด้วยดอกกัดขอบโค้งขนาด \varnothing 16 มม.



Follow part (part stock 0.2 mm)
- Material removed 0.191 kg
- Machining time 71.00 min

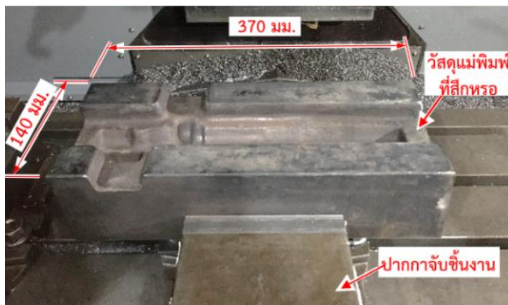


Contour area depth 0.2 mm
- Material removed 0.010 kg
- Machining time 42.80 min

ค) การกัดทิ้งสำเร็จและสำเร็จด้วยดอกกัดขนาด \varnothing 6 มม. ง) การกัดสำเร็จด้วยดอกกัดรัศมี 3 มม.
ภาพที่ 3 แบบจำลองที่สร้างโดยใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตสำหรับกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die)

1.3 การทดลองกัดงานและความสามารถในการแปรรูปของวัสดุขึ้นงาน

วัสดุขึ้นงานที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิว (Re-sink die) เป็นเหล็กกล้าแม่พิมพ์งานร้อนเกรด JIS SKD61 ที่ผ่านการใช้งานและเกิดการสึกหรอมีค่าความแข็ง 46-48 HRC และวัสดุขึ้นงานที่ใช้สำหรับการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่เป็นเหล็กกล้าแม่พิมพ์เกรด JIS SKD61 ซึ่งอยู่ในสถานะจำหน่ายและมีค่าความแข็งอยู่ที่ 21 HRC การทดลองกัดงานกระทำบนเครื่องกัดแนวตั้งยี่ห้อ Hurco รุ่น VM20i โดยวัสดุขึ้นงานมีขนาดความกว้าง 140 ยาว 370 และสูง 80 มม. ถูกจับยึดบนโต๊ะงานของเครื่องกัดด้วยปากก้าจับงานดังแสดงในรูปที่ 4 และเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการทดลองแสดงดังรูปที่ 5 ประกอบด้วยเม็ดมิด (Insert carbide) ขอบโค้งขนาดรัศมี 1.2 มม. (LNMU0303ZER-MJ AH725, Tungaloy) ประกอบเข้ากับด้ามจับมิด (Tool holder) แบบสองคมตัด (EXN03R16M16.0-02, Tungaloy) มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขอบคมตัด 16 มม. ซึ่งใช้สำหรับการกัดหยาบ โดยเครื่องมือคมตัดสำหรับการกัดทั้งสำเร็จและกัดสำเร็จประกอบด้วย ดอกกัดแบบ 4 คมตัด ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และดอกกัดรัศมีขนาด 3 มม. ซึ่งดอกกัดทั้งหมดชุบเคลือบผิวด้วย TiAlN ทั้งนี้ความสามารถในการแปรรูปของวัสดุขึ้นงานจะประเมินจากอายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัดทำการตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ (Optical measuring microscope) ยี่ห้อ Olympus รุ่น STM6



ก) วัสดุแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปพร้อมที่สึกหรอเนื่องจากการใช้งาน



ข) วัสดุเหล็กกล้าแม่พิมพ์สำหรับการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่

ภาพที่ 4 การจับยึดชิ้นงานบนโต๊ะงานของเครื่องกัด



ก) End mill, Bull \varnothing 16 mm



ข) End mill, Flat \varnothing 6 mm



ค) End mill, Ball R 3 mm

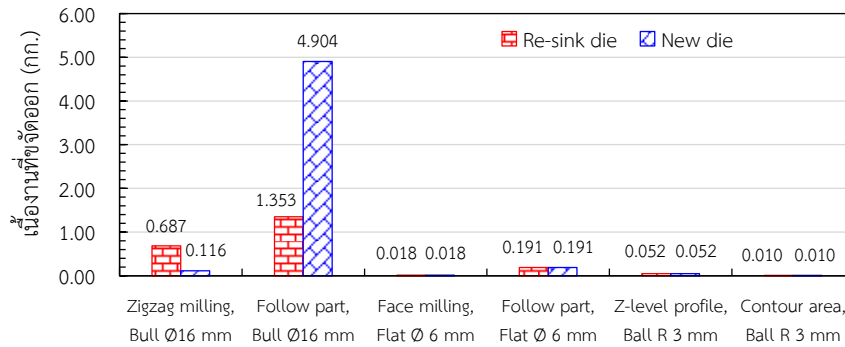
ภาพที่ 5 เครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ (Re-sink die) และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die)

ผลการดำเนินงาน

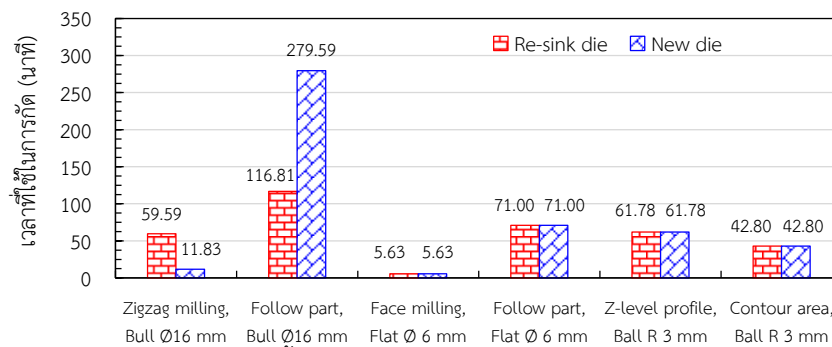
น้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออกและเวลาที่ใช้ในการกัด

น้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออกจากการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการผลิตซึ่งแบ่งตามขั้นตอนการกัดและเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ (Re-sink die) และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die) แสดงผลดังรูปที่ 6 จากรูปจะเห็นได้ว่าการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอแบบหยาบด้วยดอกกัดขอบโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (Bull \varnothing 16 mm) มีน้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออก 2.04 กก. (คำนวณจาก Zigzag milling 0.687 กก. + Follow part 1.353 กก.) และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่มีน้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออก 5.02 กก. (คำนวณจาก Zigzag

milling 0.116 กก. + Follow part 4.904 กก.) ทั้งนี้น้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออกในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ต่ำกว่า การกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่เนื่องจากการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอเป็นการขจัดวัสดุชิ้นงานที่มีรูปทรงเหมือนกับแบบ งานทำให้ไม่ต้องกัดเนื้องานในส่วนที่เป็นเข้าเดิมของแม่พิมพ์ ในส่วนของการกัดปรับสภาพพื้นผิวและการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ ด้วยดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (Flat Ø 6 mm) และดอกกัดรัศมีขนาด 3 มม. (Ball R 3 mm) มีน้ำหนักของเนื้องานที่ต้องขจัดออกไม่ต่างกันเนื่องจากการกัดมีการเผื่อเนื้องาน (Part stock) เท่ากันทั้งในการกัดถึงสำเร็จและการกัดสำเร็จ



ภาพที่ 6 น้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออกในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ (Re-sink die) และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New-die)



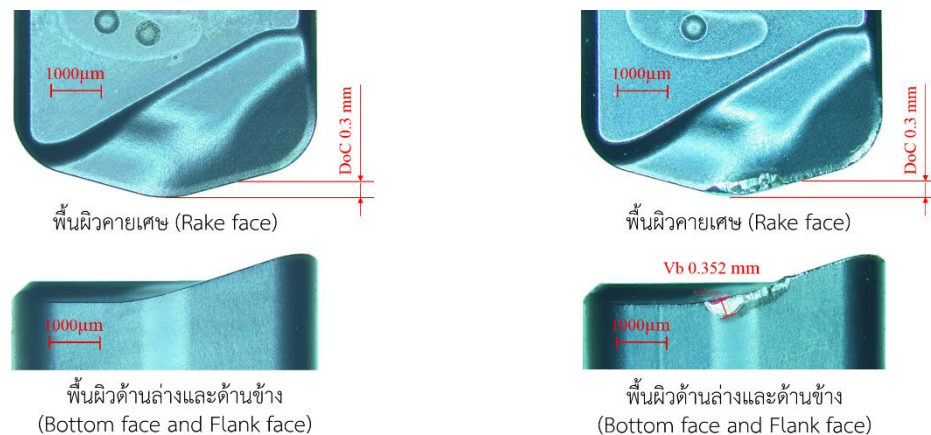
ภาพที่ 7 เวลาที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ (Re-sink die) และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New-die)

ภาพที่ 7 แสดงเวลาที่ใช้ในการกัดวัสดุแม่พิมพ์ พบว่า ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ในการกัดปาดหน้า (Zigzag milling) ด้วยดอกกัดขอบโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. (Bull Ø 16 mm) ใช้เวลาอยู่ที่ 59.59 นาที ซึ่งสูงกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ที่ใช้เวลา 11.83 นาที แต่การกัดในบริเวณเข้าแบบงานสำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ใช้เวลาอยู่ที่ 116.81 นาที ซึ่งต่ำกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ที่ต้องใช้เวลาสูงถึง 279.59 นาที เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการกัดจะแปรผันกับน้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออก อย่างไรก็ตามเวลาที่ใช้ในการกัดด้วยดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (Flat Ø 6 mm) และดอกกัดรัศมีขนาด 3 มม. (Ball R 3 mm) สำหรับทั้งการกัดปรับสภาพพื้นผิวและกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่จะใช้เวลาไม่ต่างกั ทั้งนี้ผลจากการทดลอง พบว่า เวลารวมในการกัดปรับสภาพพื้นผิวอยู่ที่ 357.61 นาที ในขณะที่การกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ใช้เวลาอยู่ที่ 472.63 นาที ทำให้สรุปได้ว่า การกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอสามารถลดเวลาในการกัดงานลงถึง 24.34 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่

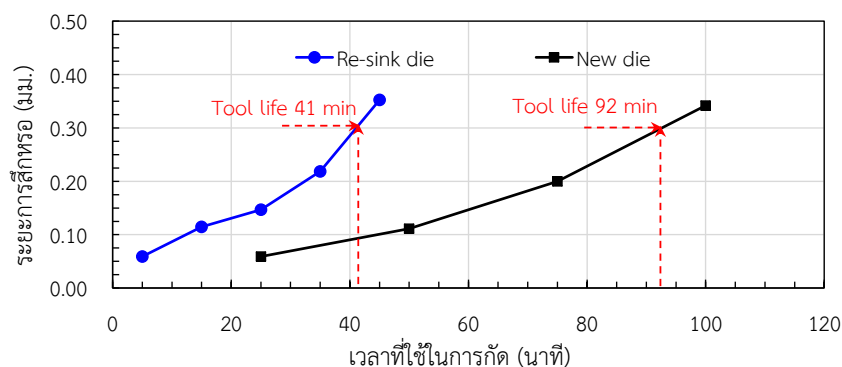
อายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัดที่ใช้

อายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัดในการทดลองประเมินจากการสึกหรอบนพื้นผิวหลบด้านข้าง (Flank face) ของเครื่องมือคมตัด ทั้งนี้เนื่องจากเม็ดมีดของดอกกัดขอบโค้งเมื่อประกอบเข้ากับค้ำมีดจะมีมุมตัดด้านข้าง (Tool cutting edge angle, KAPR) อยู่ที่ 17 องศา และในการทดลองกัดงานลึก (Depth of cut, DoC) 0.3 มม. ทำให้ตำแหน่งของพื้นผิวหลบด้านข้างปรากฏอยู่ด้านล่างของเม็ดมีดดังแสดงในรูปที่ 8 ก) และลักษณะการสึกหรอของเม็ดมีดที่ใช้กัดปรับสภาพพื้นผิวเป็นเวลา 45 นาที จะเกิดการสึกหรอเป็น 0.352 มม. ดังแสดงในรูปที่ 8 ข) การสึกหรอของเม็ดมีดดอกกัดขอบโค้งตามระยะเวลาที่

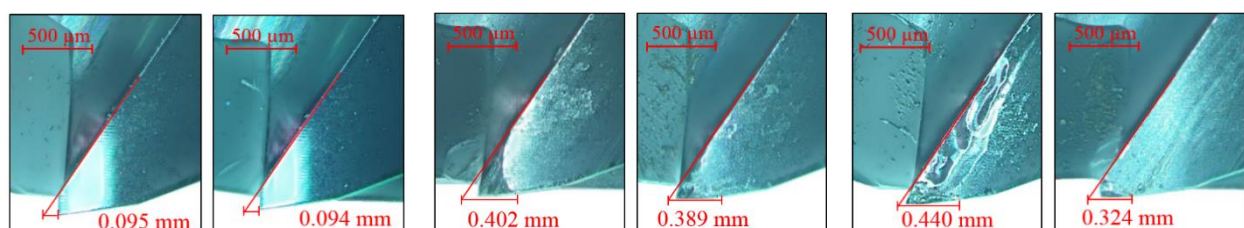
ใช้ในการกัดแสดงดังรูปที่ 9 พบว่า การสึกหรอของเม็ดยึดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการกัด และอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดกำหนดจากระยะการสึกหรอบนผิวหลวด้านข้าง (V_b) ที่ระดับ 0.3 มม. (Çalışkan and Küçükköse, 2015) ทำให้สามารถสรุปได้ว่าอายุการใช้งานของเม็ดยึดดอกกัดขอบโค้งสำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์อยู่ที่ 41 นาที และอายุการใช้งานสำหรับการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่อยู่ที่ 92 นาที ทั้งนี้อายุการใช้งานของเม็ดยึดสำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ต่ำกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่เนื่องจากการปรับปรุงสมบัติทางกลของวัสดุชิ้นงานจะทำให้ความสามารถในการแปรรูปลดลงซึ่งสอดคล้องกับการวิจัยของ Chinchani et al (Chinchani and Choudhury, 2013)



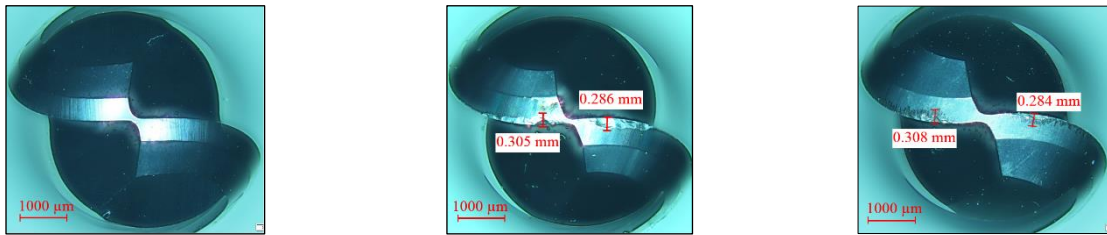
ก) เม็ดยึดก่อนการกัดวัสดุชิ้นงาน ข) เม็ดยึดหลังการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์
ภาพที่ 8 ตำแหน่งการวัดระยะการสึกหรอของเม็ดยึดดอกกัดขอบโค้ง



ภาพที่ 9 อายุการใช้งานของเม็ดยึดดอกกัดขอบโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. สำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรอ (Re-sink die) และกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die)



ก) ลักษณะดอกกัดก่อนการกัดงาน ข) ดอกกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ 25 นาที ค) ดอกกัดที่กัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ 40 นาที
ภาพรูปที่ 10 ระยะการสึกหรอของดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (Flat \varnothing 3 mm)



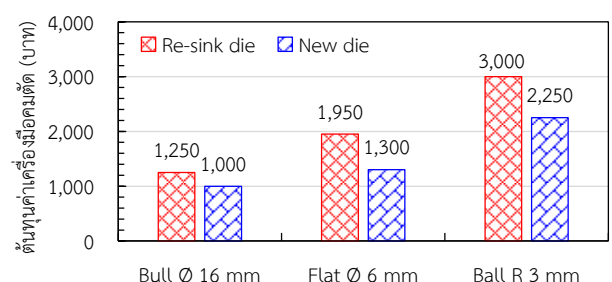
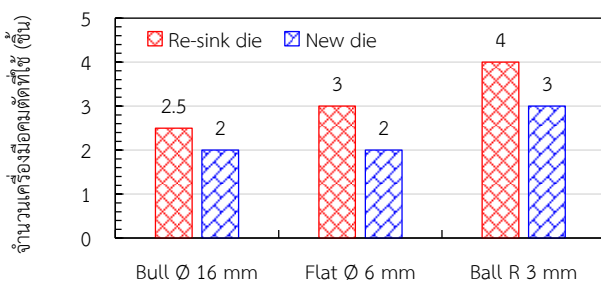
ก) ขอบคมตัดของดอกกัดใหม่
 ข) ขอบคมตัดของดอกกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์เป็นเวลา 30 นาที
 ค) ขอบคมตัดของดอกกัดสร้างแม่พิมพ์เป็นเวลา 45 นาที
 ภาพที่ 11 ระยะการสึกหรอของดอกกัดรัศมีขนาด 3 มม. (Ball R 3 มม)

อายุการใช้งานของดอกกัดจากการทดลองก่ดงาน พบว่า ดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. ที่ใช้สำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่ระยะเวลาในการกัด 25 นาที มีระยะการสึกหรอเฉลี่ยเท่ากับ 0.301 มม. ซึ่งคำนวณจากค่าผลรวมของดอกกัดพื้นที่มีการสึกหรอสูงที่สุดกับต่ำสุดตั้งรูป 10 ข) ลบด้วยค่าเฉลี่ยของระยะขดเซยในการอ้างอิงตำแหน่งวัดตั้งรูป 10 ก) และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ที่ระยะเวลา 40 นาที มีระยะการสึกหรอเฉลี่ยเท่ากับ 0.288 มม. (อ้างอิงจากภาพที่ 10 ค) และ ก)) ในส่วนของดอกกัดรัศมีขนาด 3 มม. ที่ใช้สำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์มีระยะการสึกหรอเฉลี่ย 0.300 มม. ที่ระยะเวลา 30 นาที และการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่มีระยะการสึกหรอเฉลี่ย 0.296 มม. ที่ระยะเวลา 45 นาที ดังแสดงในภาพที่ 11 ผลจากการทดลอง พบว่า การสึกหรอของเครื่องมือคมตัดมีค่าใกล้เคียงกับเกณฑ์การกำหนดอายุการใช้งานที่ระดับ 0.3 มม. ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงใช้เวลาดังกล่าวเป็นอายุการใช้งานโดยประมาณของดอกกัด

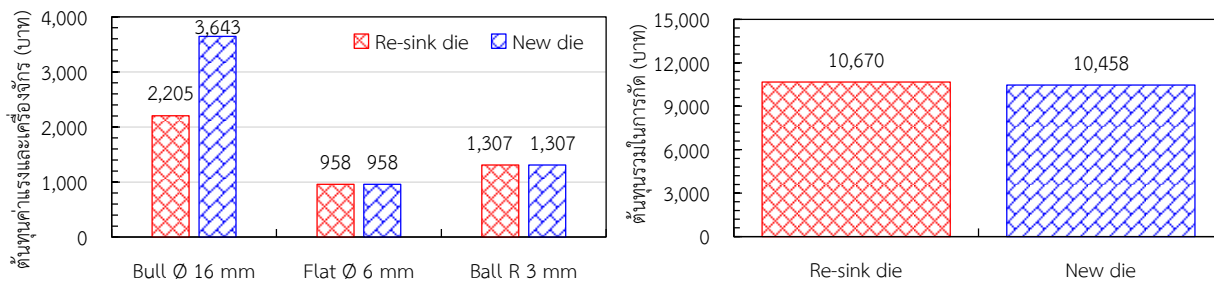
ต้นทุนที่ใช้ในการกัดแม่พิมพ์

ภาพที่ 12 ก) แสดงจำนวนเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัดซึ่งถูกกำหนดจากระยะเวลาในการกัดต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัด ตัวอย่างเช่น ในการกัดด้วยดอกกัดขอบโค้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 16 มม. ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ต้องติดตั้งเม็ดเม็ดจำนวน 2 คมตัด โดยเม็ดเม็ด 1 ชิ้นมี 4 คมตัด และต้องใช้เวลาในการกัด 176.4 นาที (59.59 + 116.81) โดยที่อายุการใช้งานของคมตัดจากการทดลองเท่ากับ 41 นาที ดังนั้นจำนวนเม็ดเม็ดที่ใช้ในการกัดจะเท่ากับ 2.5 ชิ้น (คำนวณจำนวนคมตัดจาก 176.4/41 = 4.32 ≈ 5 คมตัด, จำนวนเม็ดเม็ดที่ใช้คือ (5 × 2)/4 = 2.5 ชิ้น) ในส่วนของดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. และดอกกัดรัศมี 3 มม. สามารถกำหนดได้โดยตรงจากเวลาที่ใช้ในการกัดต่ออายุการใช้งานจากรูป พบว่าการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ต้องใช้จำนวนเครื่องมือคมตัดมากกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่เนื่องจากความแข็งของวัสดุชิ้นงานส่งผลให้อายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัดลดลง

ภาพที่ 12 ข) แสดงต้นทุนค่าเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวและกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ ซึ่งคำนวณจากจำนวนเครื่องมือคมตัดที่ใช้คูณด้วยราคา ซึ่งเม็ดเม็ดขอบโค้ง (Bull Ø 16 mm) ราคาเม็ดละ 500 บาท ดอกกัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 มม. (Flat Ø 6 mm) ราคา 650 บาท และดอกกัดรัศมี 3 มม. (Ball R 3 mm) ราคา 750 บาท ผลจากการคำนวณพบว่า ต้นทุนของเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์อยู่ที่ 6,200 บาท ในขณะที่การกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่มีต้นทุนรวมอยู่ที่ 4,550 บาท ทำให้สรุปได้ว่าต้นทุนของเครื่องมือคมตัดในการกัดปรับสภาพพื้นผิวจะเพิ่มขึ้น 36.26 เปอร์เซ็นต์



ก) จำนวนเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัด
 ข) ต้นทุนค่าเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัด
 ภาพที่ 12 จำนวนเครื่องมือคมตัดและต้นทุนที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิว (Re-sink die) และกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die)



ก) ต้นทุนค่าเครื่องจักรและค่าแรง

ข) ต้นทุนรวมในการกัด

ภาพที่ 13 ต้นทุนค่าเครื่องจักรและค่าแรงที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิว (Re-sink die) และกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ (New die)

ภาพที่ 13 ก) แสดงต้นทุนค่าเครื่องจักรพร้อมค่าแรงพนักงานควบคุมเครื่องซึ่งคำนวณจากค่าเช่ารายชั่วโมง (750 บาท/ชั่วโมง) ตัวอย่างเช่น การกัดด้วยเม็ดมีดขอบโค้งสำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรือใช้เวลา ในการกัด 176.4 นาที ดังนั้นค่าเครื่องจักรและค่าแรงจึงเท่ากับ 2,205 บาท ($(176.4 / 60) \times 750$) จากการทดลอง พบว่า การกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์มีต้นทุนรวมค่าเครื่องจักรและพนักงานควบคุมเท่ากับ 4,470 บาท ในขณะที่การกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่มีต้นทุนรวมอยู่ที่ 5,908 บาท ซึ่งสรุปได้ว่า การกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรือสามารถลดต้นทุนค่าเครื่องจักรและพนักงานคิดเป็น 24.34 เปอร์เซ็นต์

เมื่อพิจารณาถึงต้นทุนโดยรวมในการกัด พบว่า การกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์มีต้นทุนรวมอยู่ที่ 10,670 บาท ในขณะที่การกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่มีต้นทุนรวมอยู่ที่ 10,458 บาท ดังแสดงในรูปที่ 13 ข) ทำให้สรุปได้ว่าการปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรือมีต้นทุนรวมในการกัดสูงขึ้นเพียง 212 บาท หรือคิดเป็น 2.03 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าแตกต่างกับการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่เพียงเล็กน้อย

สรุปผลการวิจัย

การทดลองเพื่อศึกษาความสามารถในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปร้อนเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ โดยคำนึงถึงต้นทุนในการกัดสามารถสรุปได้ดังนี้

1) น้ำหนักเนื้องานที่ต้องขจัดออกในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรือต่ำกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ 56.33 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ต้นทุนค่าเครื่องจักรและค่าแรงสำหรับพนักงานลดลง 24.34 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามความแข็งของชิ้นงานส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือคมตัดลดลง ทำให้ต้นทุนค่าเครื่องมือคมตัดที่ใช้ในการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์สูงกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ 36.26 เปอร์เซ็นต์

2) ต้นทุนรวมในการกัดโดยคำนึงถึงค่าเครื่องมือคมตัดและเครื่องจักรตลอดจนค่าแรงในการกัด ซึ่งต้นทุนรวมสำหรับการกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์ที่สึกหรือสูงกว่าการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่เพียง 2.03 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่คำนึงถึงต้นทุนในส่วนของวัสดุชิ้นงานและการปรับปรุงสมบัติทางกลในกรณีที่มีการกัดสร้างแม่พิมพ์ใหม่ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า การกัดปรับสภาพพื้นผิวแม่พิมพ์เป็นทางเลือกที่สามารถลดต้นทุนในการสร้างแม่พิมพ์ที่ขึ้นรูปร้อน เนื่องจากเป็นการนำวัสดุแม่พิมพ์ที่เป็นของเสียมาทำการแปรรูปเพื่อนำกลับไปใช้งานใหม่

กิตติกรรมประกาศ

ทางคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพที่ให้การสนับสนุนเครื่องมือและงบประมาณในการวิจัย ตลอดจนใคร่ขอขอบพระคุณ ห้างหุ้นส่วนจำกัด ทูล แอนด์ ดาย ออโต้พาร์ท ที่ให้การสนับสนุนทางด้านวัสดุชิ้นงานและเครื่องจักรที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Buchmayr, B. (2017). Damage, lifetime, and repair of forging dies. *BHM Berg-und Hüttenmännische Monatshefte*, 162(3), 88-93.
- [2] Çalışkan, H., & Küçüköse, M. (2015). The effect of aCN/TiAlN coating on tool wear, cutting force, surface finish and chip morphology in face milling of Ti6Al4V superalloy. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 50, 304-312.
- [3] Chander, S., & Chawla, V. (2017). Failure of hot forging dies—an updated perspective. *Materials Today: Proceedings*, 4(2), 1147-1157.
- [4] Chinchankar, S., & Choudhury, S. K. (2013). Investigations on machinability aspects of hardened AISI 4340 steel at different levels of hardness using coated carbide tools. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 38, 124-133.
- [5] Foster, J., Cullen, C., Fitzpatrick, S., Payne, G., Hall, L., & Marashi, J. (2019). Remanufacture of hot forging tools and dies using laser metal deposition with powder and a hard-facing alloy Stellite 21®. *Journal of Remanufacturing*, 9(3), 189-203.
- [6] Gronostajski, Z., Kaszuba, M., Polak, S., Zwierzchowski, M., Niechajowicz, A., & Hawryluk, M. (2016). The failure mechanisms of hot forging dies. *Materials Science and Engineering: A*, 657, 147-160.
- [7] Hawryluk, M. (2016). Review of selected methods of increasing the life of forging tools in hot die forging processes. *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 16, 845-866.
- [8] Nuray, B. U. (2018). Failure Analysis of hot forging dies. *Proceedings Book of International Metallurgy & Materials Congress 19th (IMMC 2018)*, pp 849-852.
- [9] Sortino, M., Belfio, S., Motyl, B., & Totis, G. (2014). Compensation of geometrical errors of CAM/CNC machined parts by means of 3D workpiece model adaptation. *Computer-Aided Design*, 48, 28-38.